



COMMENT
LE SOUS-SOL
PEUT IL PARTICIPER
À LA
DURABILITÉ
ET À
L'HUMANITÉ
DES VILLES ?

MERCREDI 18 MAI À 10H30

VILLE 10D,
VILLE D'IDÉES

 **SNBPE**
SYNDICAT NATIONAL DU BÉTON PISTÉ & LIÉGÉ

Webinaire SNBPE: Ville 10D – Ville d'Idées 18 mai 2022

Monique LABBÉ

Architecte DPLG

Initiatrice - Directrice générale du Projet National de Recherche Ville 10D-Ville d'Idées

Ex-Présidente du Comité Espace Souterrain de l'AFTES (2005-2017)

Jean-François DAVID

Architecte DPLG

Responsable de la rédaction du guide Ville 10D-Ville d'Idées

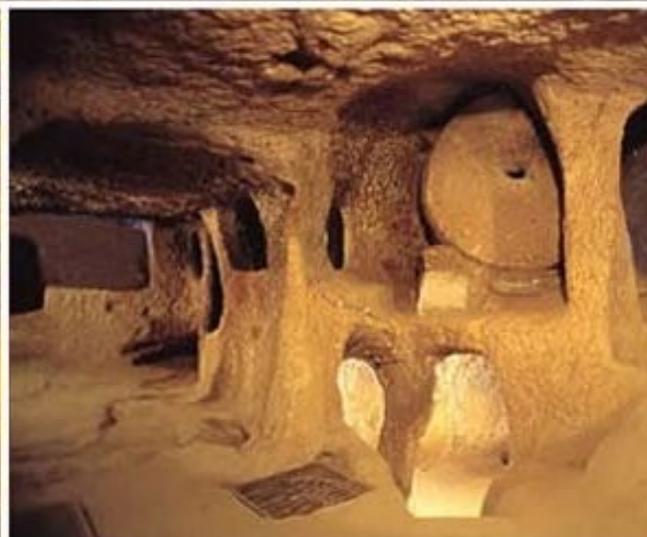
• SOMMAIRE

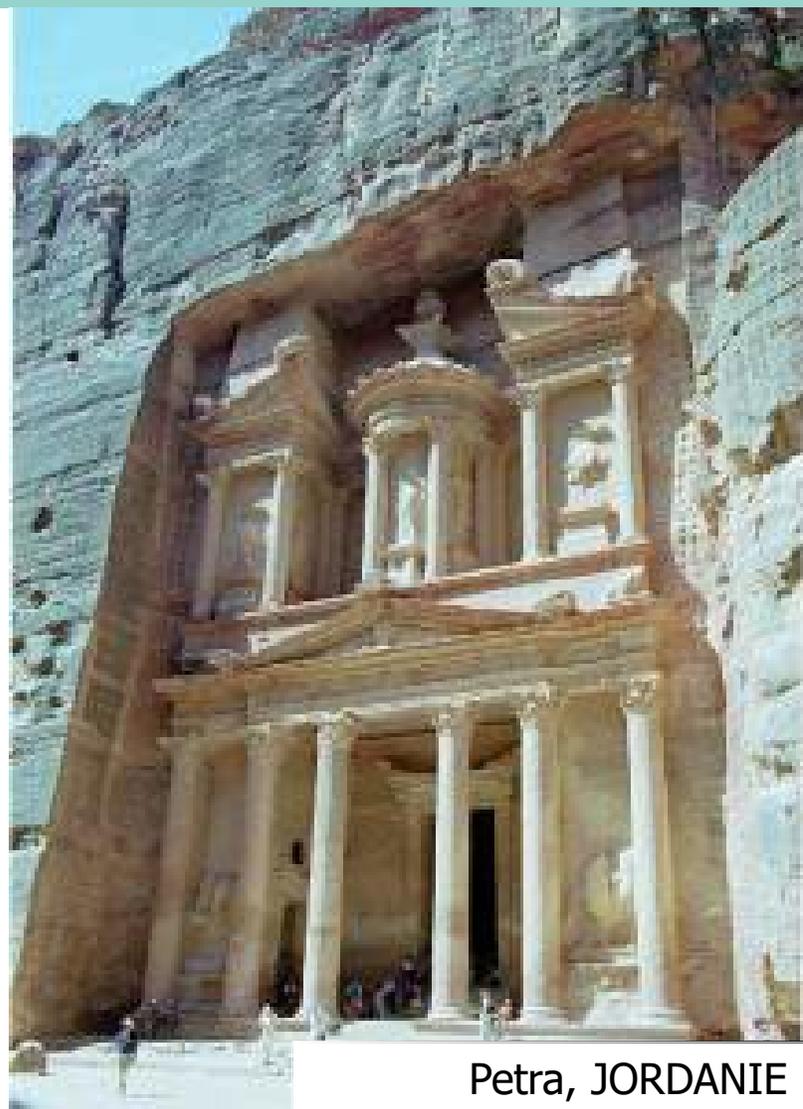
- 1. Espace souterrain, espace urbain
 - a. Les usages ancestraux du sous-sol
 - b. Le sous-sol, lieu avant tout humain
 - c. Les qualités de l'espace souterrain
- 2. Le sous-sol ressource stratégique
- 3. Le sous-sol aléa parce qu'invisible
- 4. Planifier pour laisser la place au futur
- 5. Contribution du sous-sol à la durabilité urbaine
- 6. La continuité de l'espace urbain
- 7. Données et visualisation du sous-sol

1. espace souterrain, espace urbain

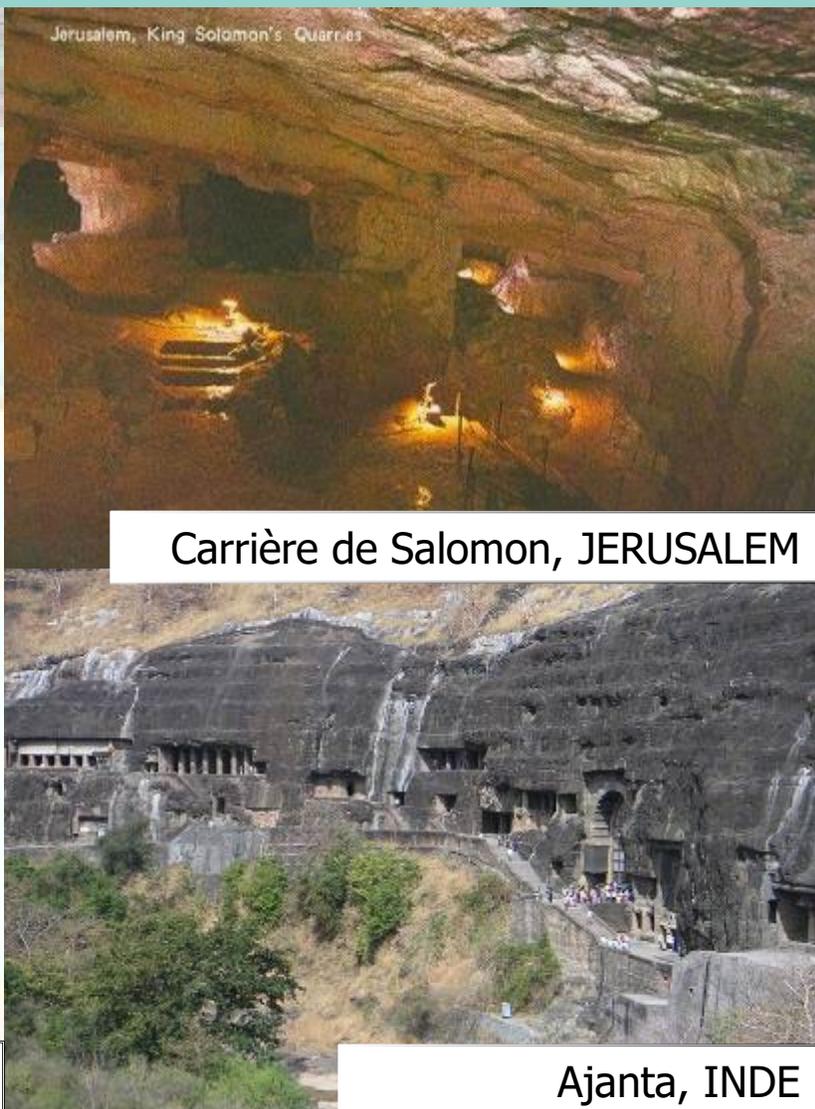
- 1 – les usages ancestraux du sous-sol
- 2 – le sous-sol, lieu avant tout humain
- 3 – les qualités de l'espace souterrain

- DERINKUTU, CAPPADOCE (TURQUIE)



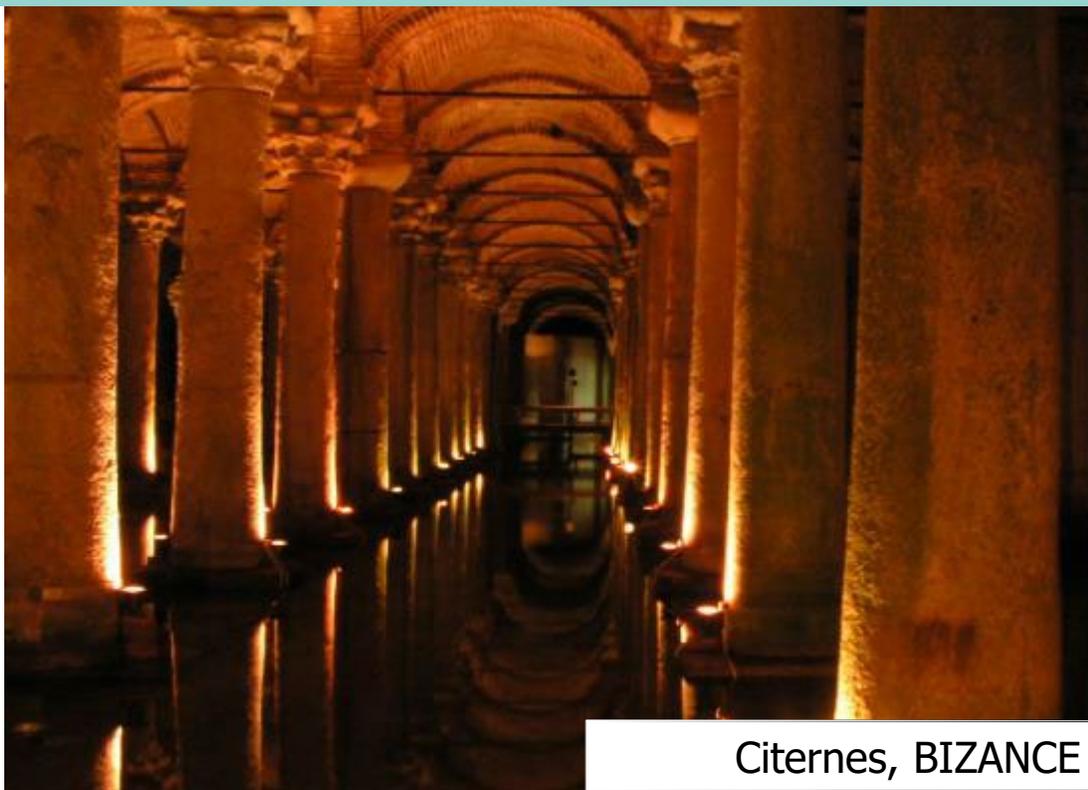


Petra, JORDANIE



Carrière de Salomon, JERUSALEM

Ajanta, INDE

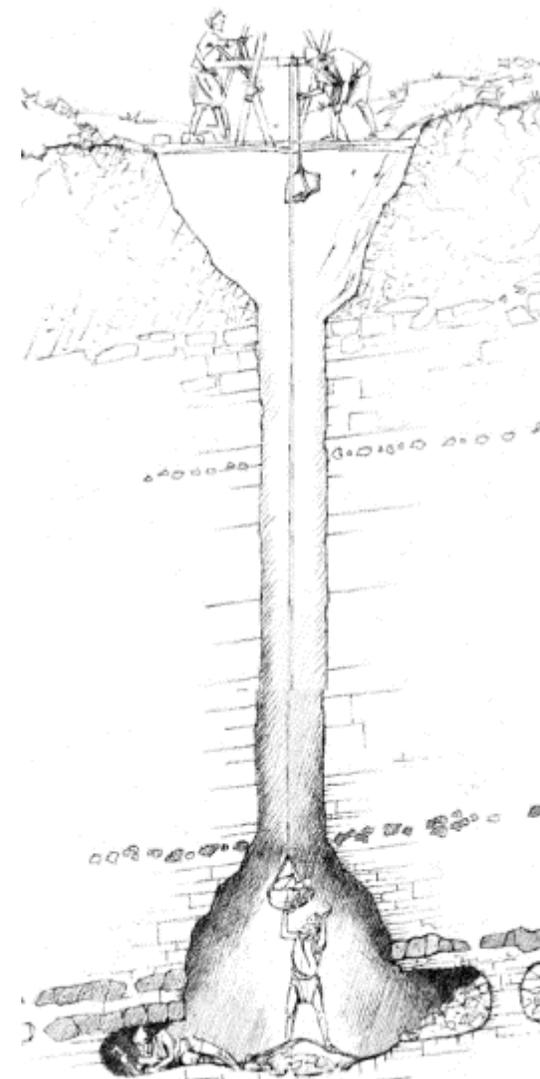


Citernes, BIZANCE

mines, temples et tombeaux maîtrise de l'eau

Néolithique, Mine de silex, SPIENNE

Webinaire SNBPE: Ville 10D – Ville d'Idées 18 mai 2020

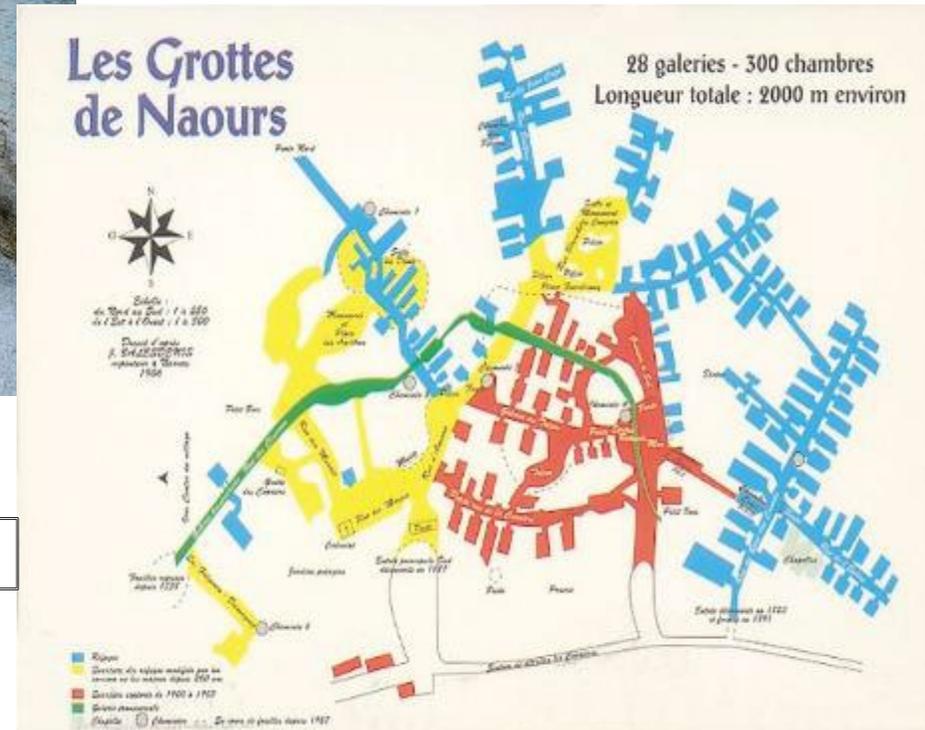


• DOUÉ LA FONTAINE



Troglodytisme ancien et moderne

Refuges souterrains du Moyen Age



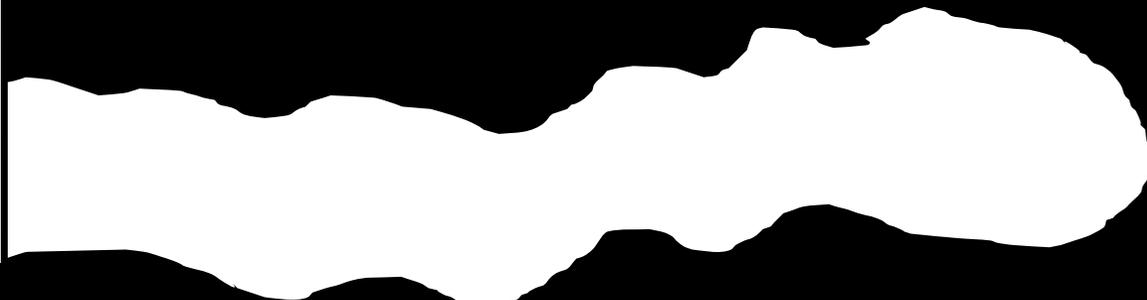
- Pendant longtemps...

... l'espace souterrain des carrières a été investi pour la culture du champignon, le stockage des récoltes, l'affinage des vins et des fromages, comme abri pour le bétail, et, bien sûr, a servi d'habitat.



1. espace souterrain, espace urbain

- 1 – les usages ancestraux du sous-sol
- 2 – le sous-sol, lieu avant tout humain
- 3 – les qualités de l'espace souterrain



Schema R.Arzu

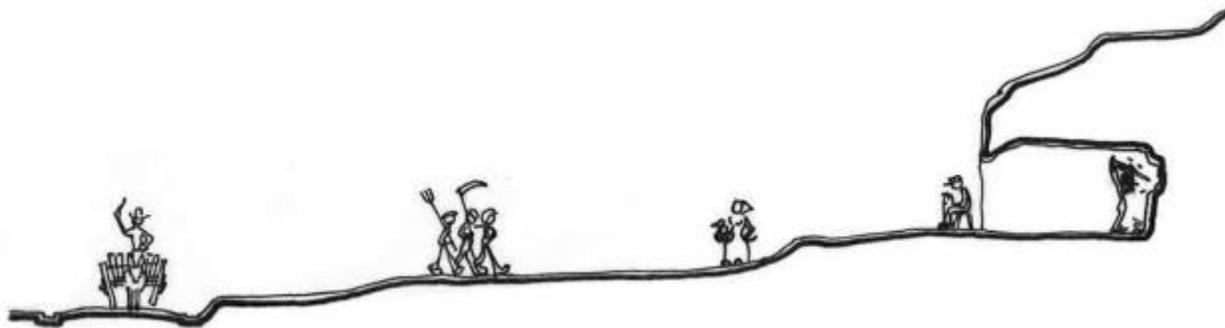


• Village troglodyte de BARRY (Drôme)

CE QUE NOUS DIT L'HOMME DANS LA NATURE :

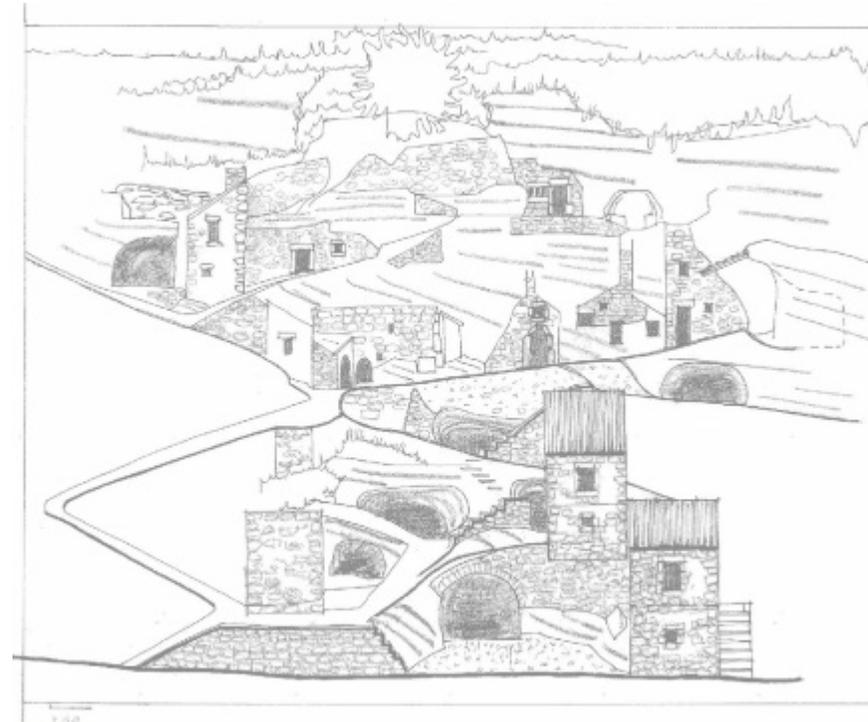
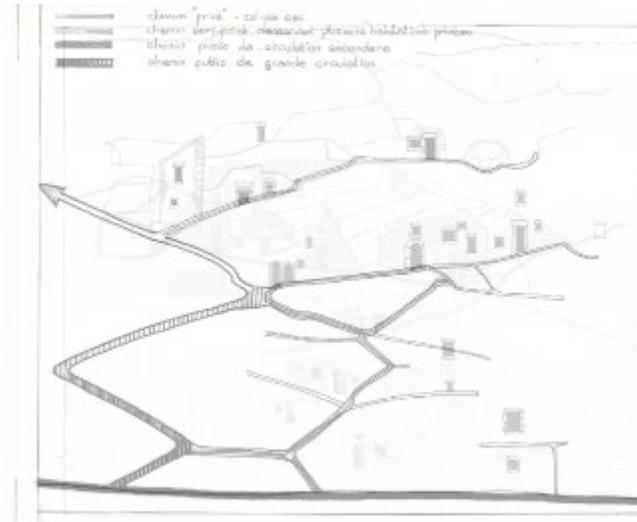
L'espace souterrain n'existe que si quelqu'un le creuse

L'espace humain est continu et hiérarchisé



Coupe dessinée du cheminement dans un village troglodyte,
(image: M. Labbé, 1975,

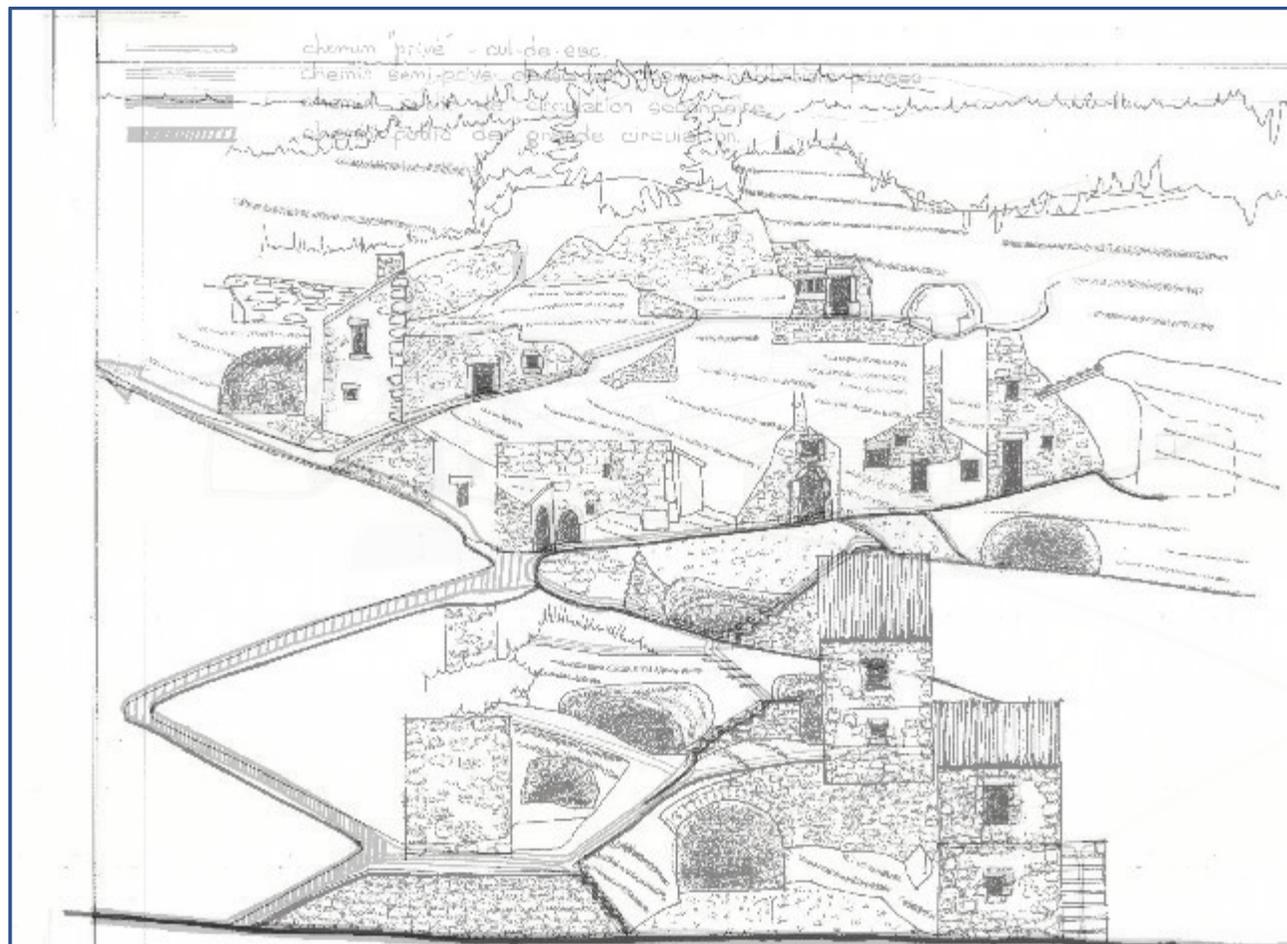
• Village troglodyte de BARRY (Drôme)



Continuité et hiérarchie des cheminements

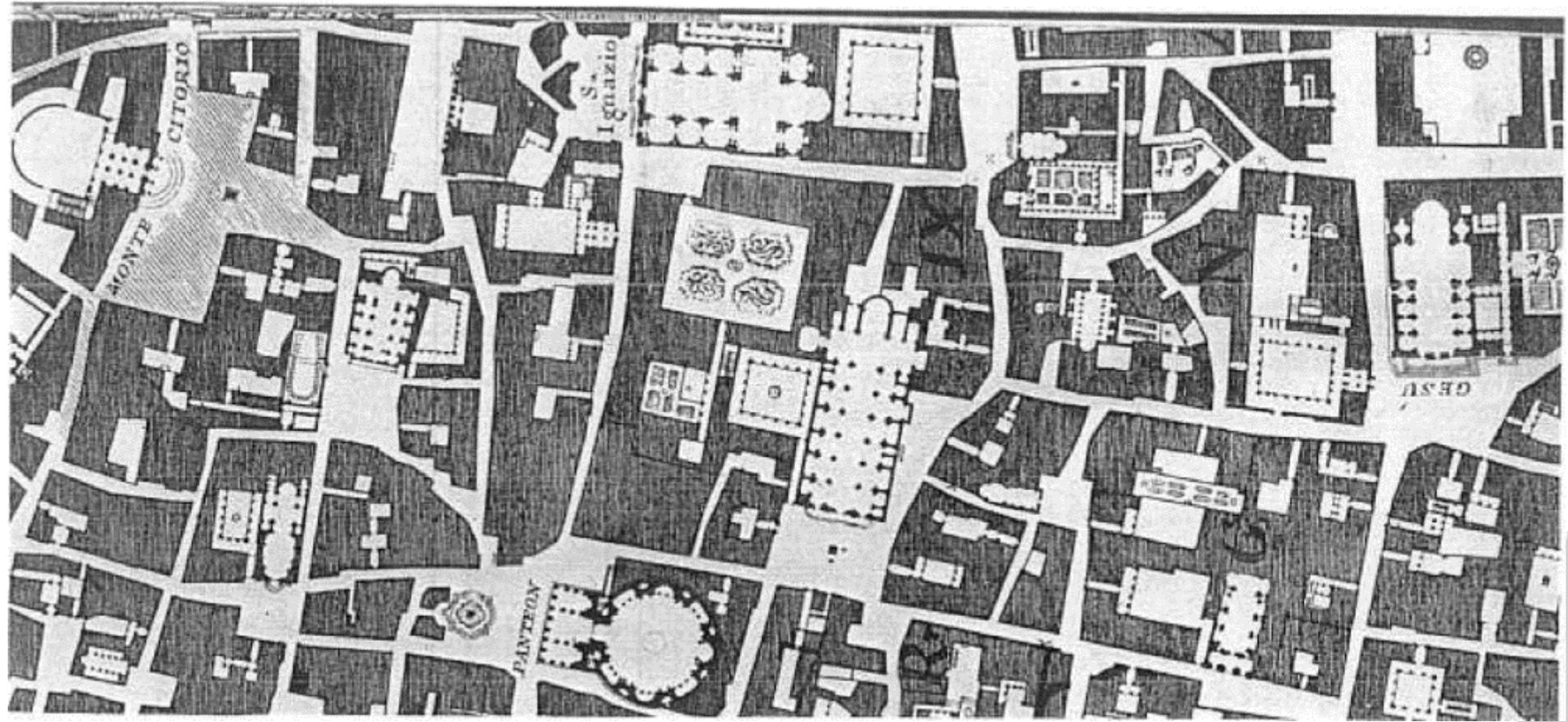
(Monique Labbé, Architecte, 1975, images: M. Labbé).

• Village troglodyte de BARRY (Drôme)



Souplesse et dialogue entre le corps en mouvement et le paysage

- GIAMBATTITA NOLLI: Plan de Rome



- Processus de création du cadre de vie





Paris, la colline Sainte-Geneviève : le dessin des rues suit le relief et la logique de cheminement

QUELLE HUMANITÉ RECONNAIT-ON À LA VILLE ?

- la continuité du mouvement, du déplacement de l'homme
- la relation entre les rues et le relief (quartier latin Montagne Sainte-Geneviève)
- la hiérarchisation des voiries, chemins, accès, espaces

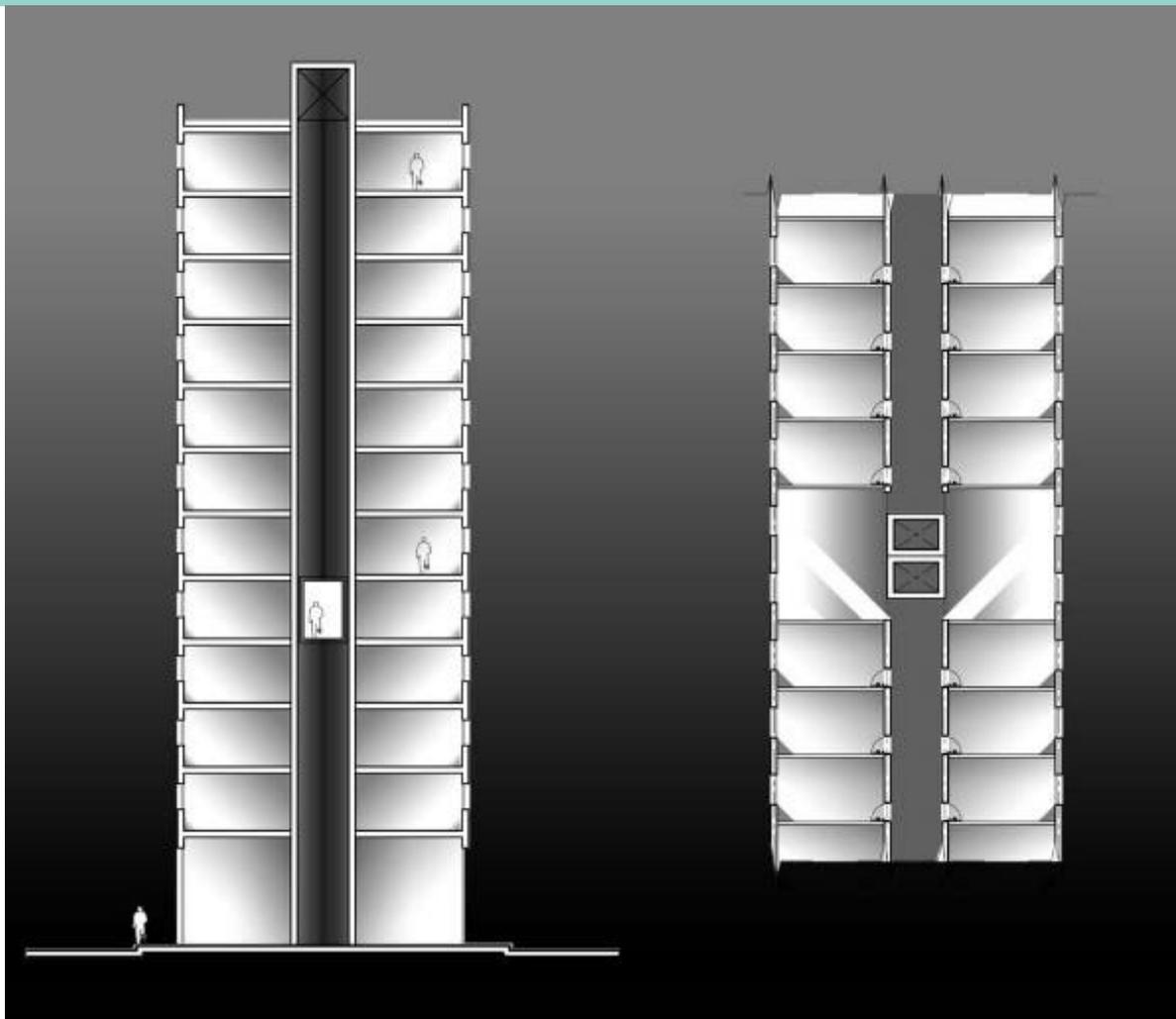
- Principe pour la conception des espaces souterrains



Monique LABBÉ
LES ATELIERS



Mais, à la différence de la surface, les personnes qui descendent dans le sous-sol sont vulnérables et sensibilisées et ne supportent pas d'être traitées n'importe comment



Tel plan tel coupe

1. espace souterrain, espace urbain

- 1 – les usages ancestraux du sous-sol
- 2 – le sous-sol, lieu avant tout humain
- 3 – les qualités de l'espace souterrain

- Les qualités de l'espace souterrain

L'espace souterrain **protège,**
dissimule,
connecte des espaces ou des fonctions.

Il est **disponible** en continu.

• La persistance des qualités de l'espace souterrain

Avantages historiques	Avantages contemporains
Discrétion	Protection de sites historiques
	Limite de hauteur
Protection	Protection de l'équipement par rapport à l'environnement
	Protection des riverains contre une nuisance de l'équipement
Disponibilité	Disponibilité d'un volume souterrain
	Pénurie foncière en surface
	synergie / extraction
Connectivité	Connectivité et continuité

Les motivations d'une implantation souterraine varient peu suivant les époques.

Généralement elles se cumulent.

Elles définissent des typologies parfois très qualitatives.

- L'espace souterrain comme parcours



Les Halles de Paris
Chémétov arch.

Organiser des fonctionnalités variées
sur des parcours foisonnants.



- La porosité de l'espace souterrain



Musée souterrain Rex, Helsinki
AMOs



- Des espaces publics souterrains



*Les Halles de Paris –
Chémétov arch.*

Des rues et des places souterraines

pour créer de l'espace public

et des interactions sociales.



- L'acceptabilité de l'espace souterrain



*Terminal Jules Vernes,
La Défense*

insécurité	protection
déclassement	valorisation sociale
enfermement	protection
cloisonnement	fluidité
stérilité	vivant



Carrousel du Louvre, Paris
(source: site internet carrousel du Louvre)

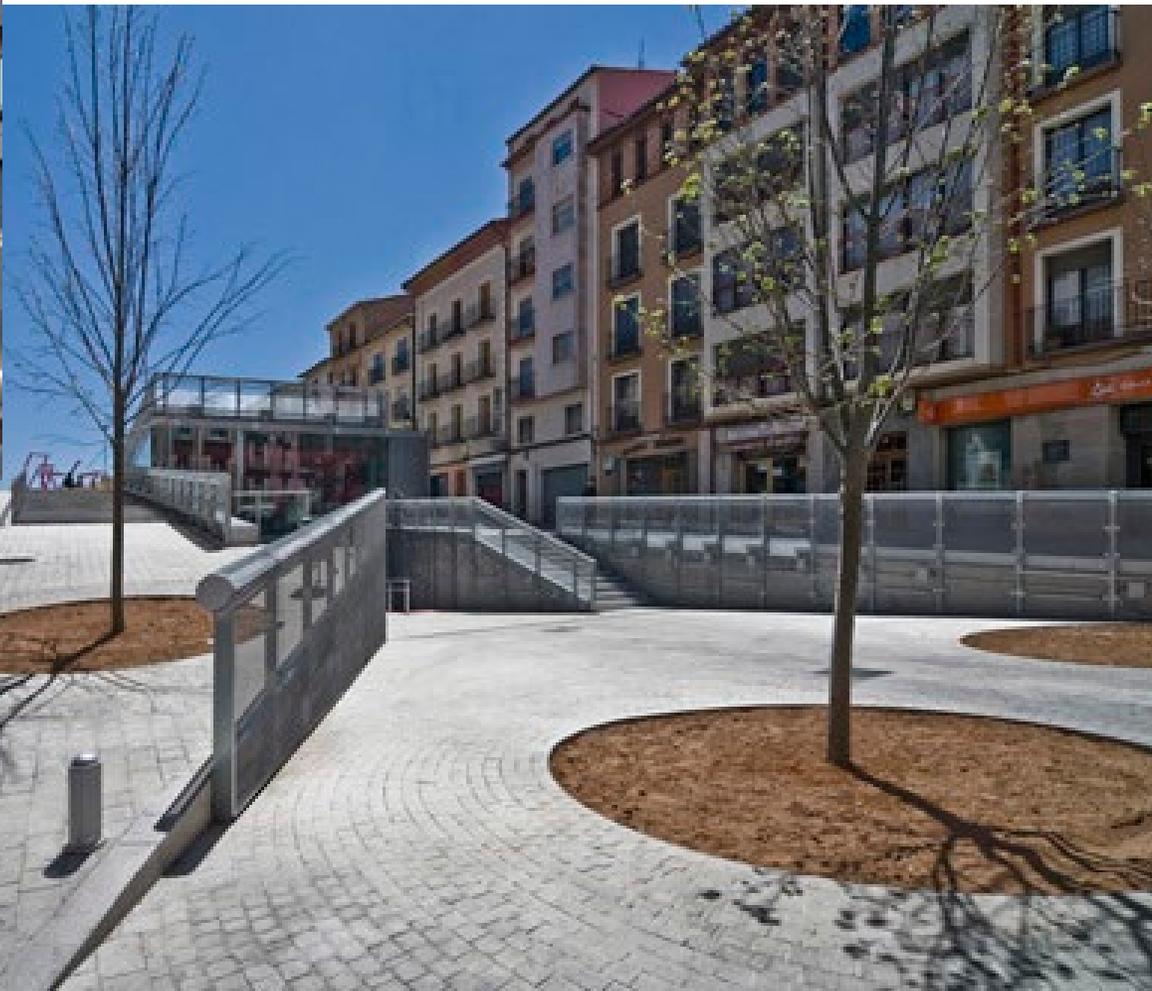
L'acceptabilité de l'espace souterrain est conditionnée à la qualité de son intégration urbaine.

- Le sous-sol partenaire



TERUEL, ESPAGNE

*Mi5 Arquitectos, and
PKMN Architectures*



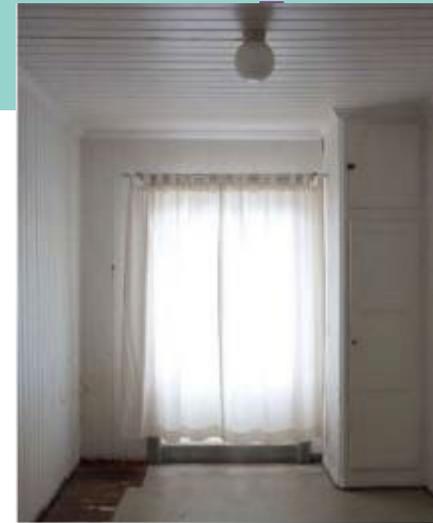
TERUEL, ESPAGNE

- La continuité espace souterrain / surface



*Sous-sol de la Défense:
L'attrait des « clairières »*

- S'affranchir du monde extérieur
- Imiter le monde extérieur en sous-sol
- **Compléter le monde extérieur**
- **Faire entrer le monde extérieur en sous-sol**



*Diffuseur LED derrière un rideau
(D. Rybakken)*



Tube mode doux de la Croix-Rousse, Lyon

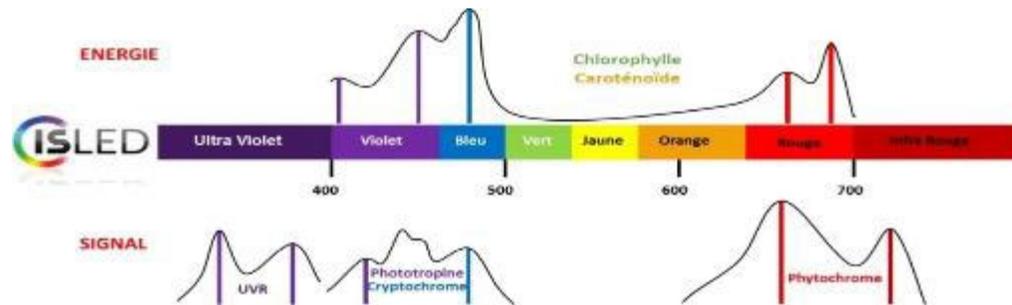
- Le vivant en sous-sol



• Chercher des bénéfices systémiques



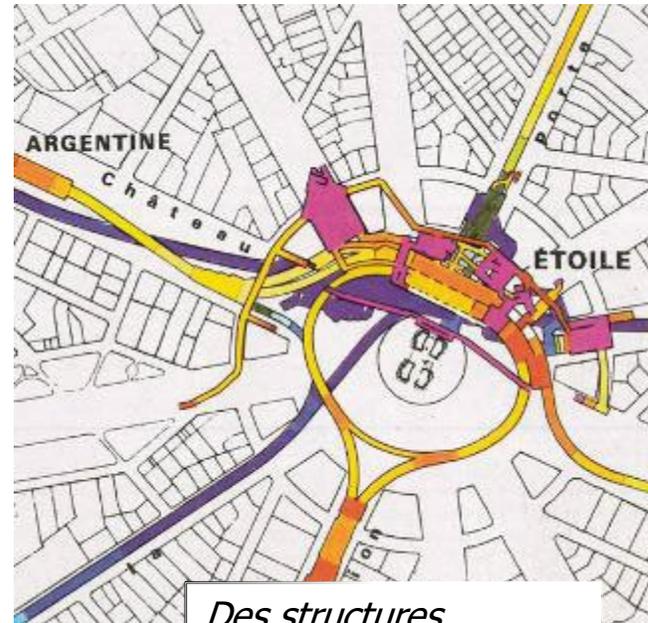
avec la lumière,
l'eau,



l'air,
le végétal,
la vie animale



- Se situer dans l'espace et les rythmes de la Ville

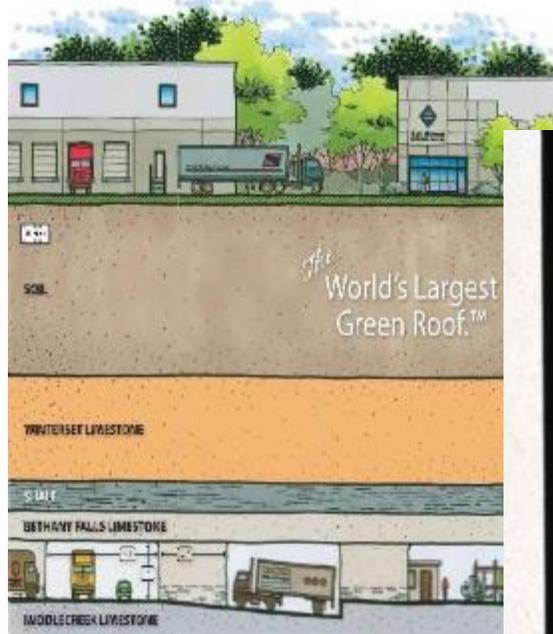


2. Le sous-sol, ressource stratégique

Regarder le sous-sol autrement :

loin des approches sectorielles

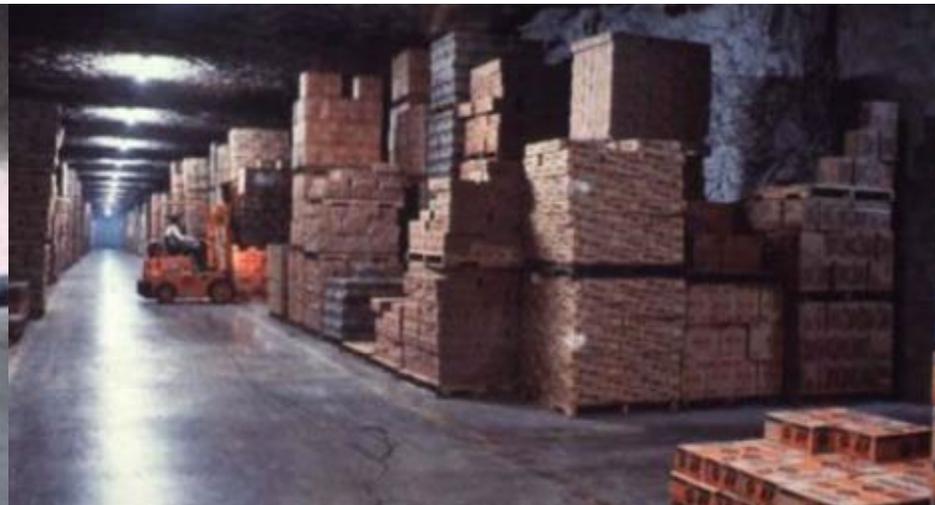
• Kansas City (États-Unis)



- Excavation suivant les veines géologiques
- Excavation structurée pour permettre une réutilisation

Subtropolis- Missouri - États-Unis d'Amérique

- Kansas City (États-Unis)



Subtropolis – Le plus grand complexe souterrain

3. Le sous-sol aléa parce qu'invisible

- permet d'ignorer ce qui se passe sous la surface,
or...

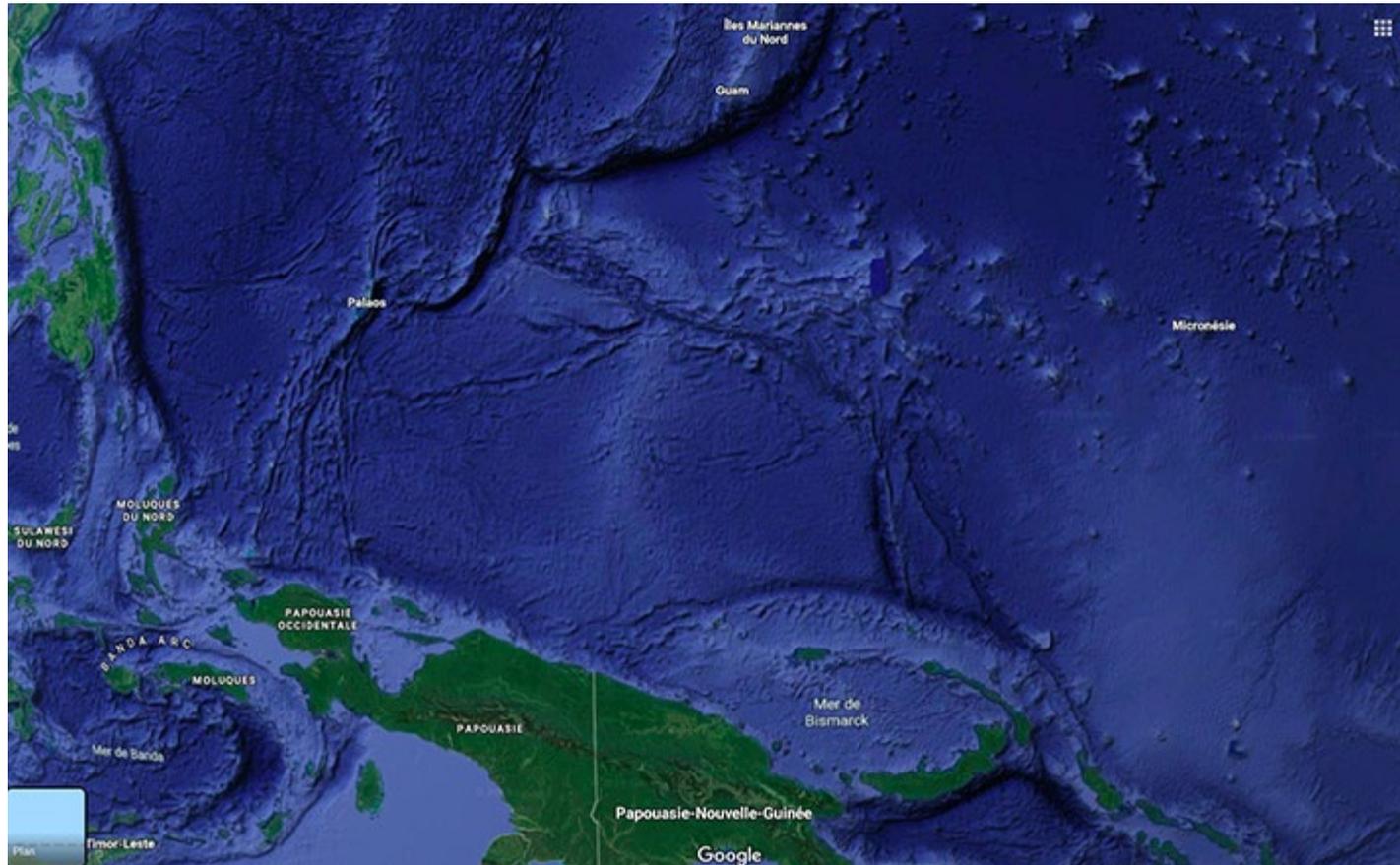
- Prendre conscience de la réalité du sous-sol



Sur la mer ou sur le sol...

- Sous-sol et fonds marins

Le paysage



Sous la mer ou... sous le sol...

- Prendre conscience de la réalité du sous-sol

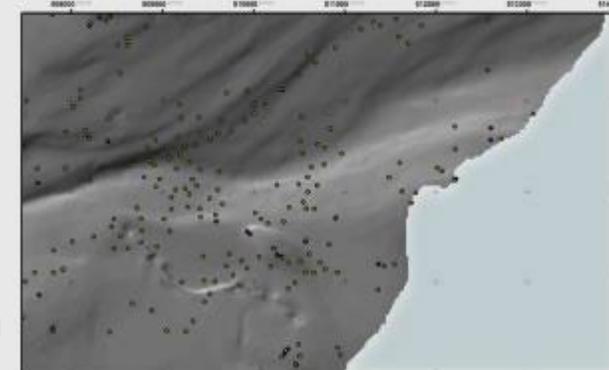
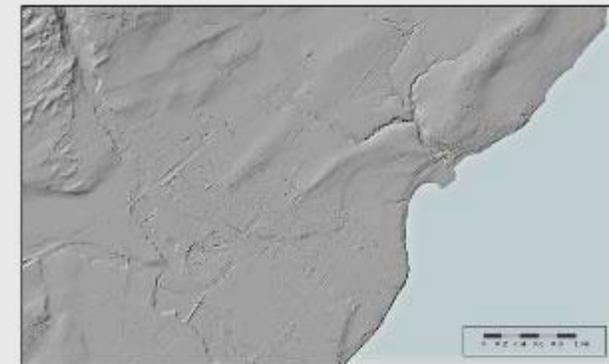
Région de Nyon, Suisse.

(a) carte de la surface

(b) 3D du relief du sol (avec les couches quaternaires).

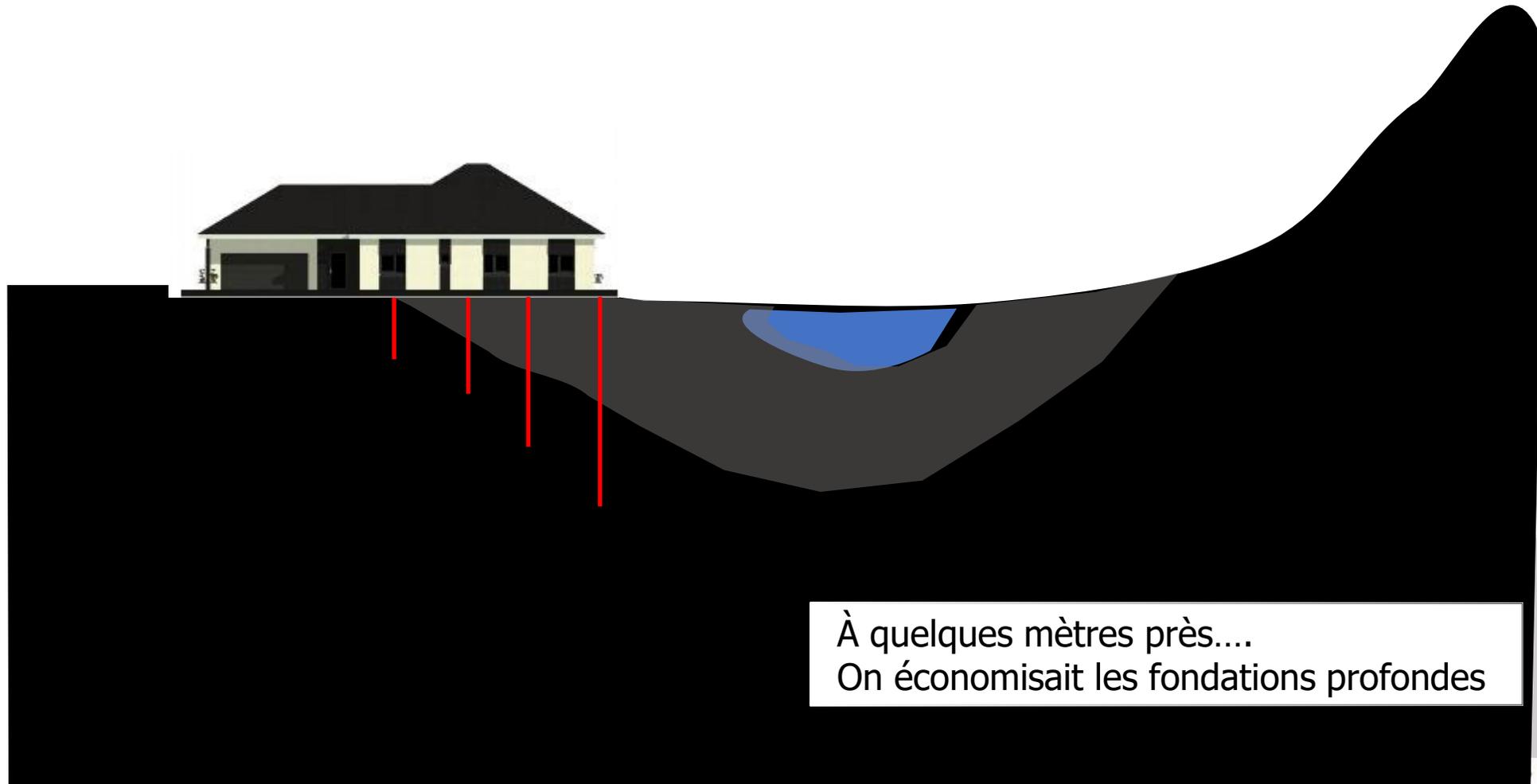
(c) 3D du relief souterrain (sans les couches quaternaires)

(images: Deep City, courtesy of Aurèle Parriaux)



Sous la mer ou... sous le sol...

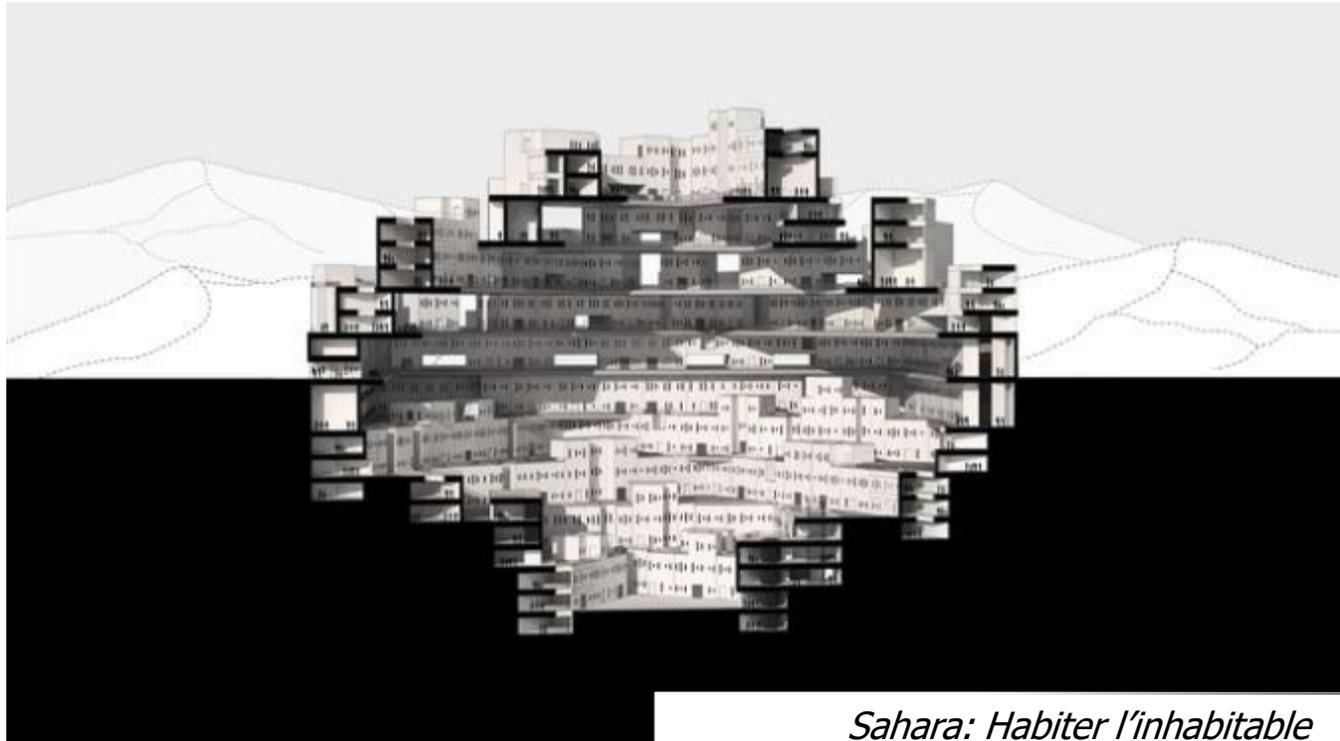
- Du sous-sol aléa...



À quelques mètres près...
On économisait les fondations profondes

- Au sous-sol partenaire

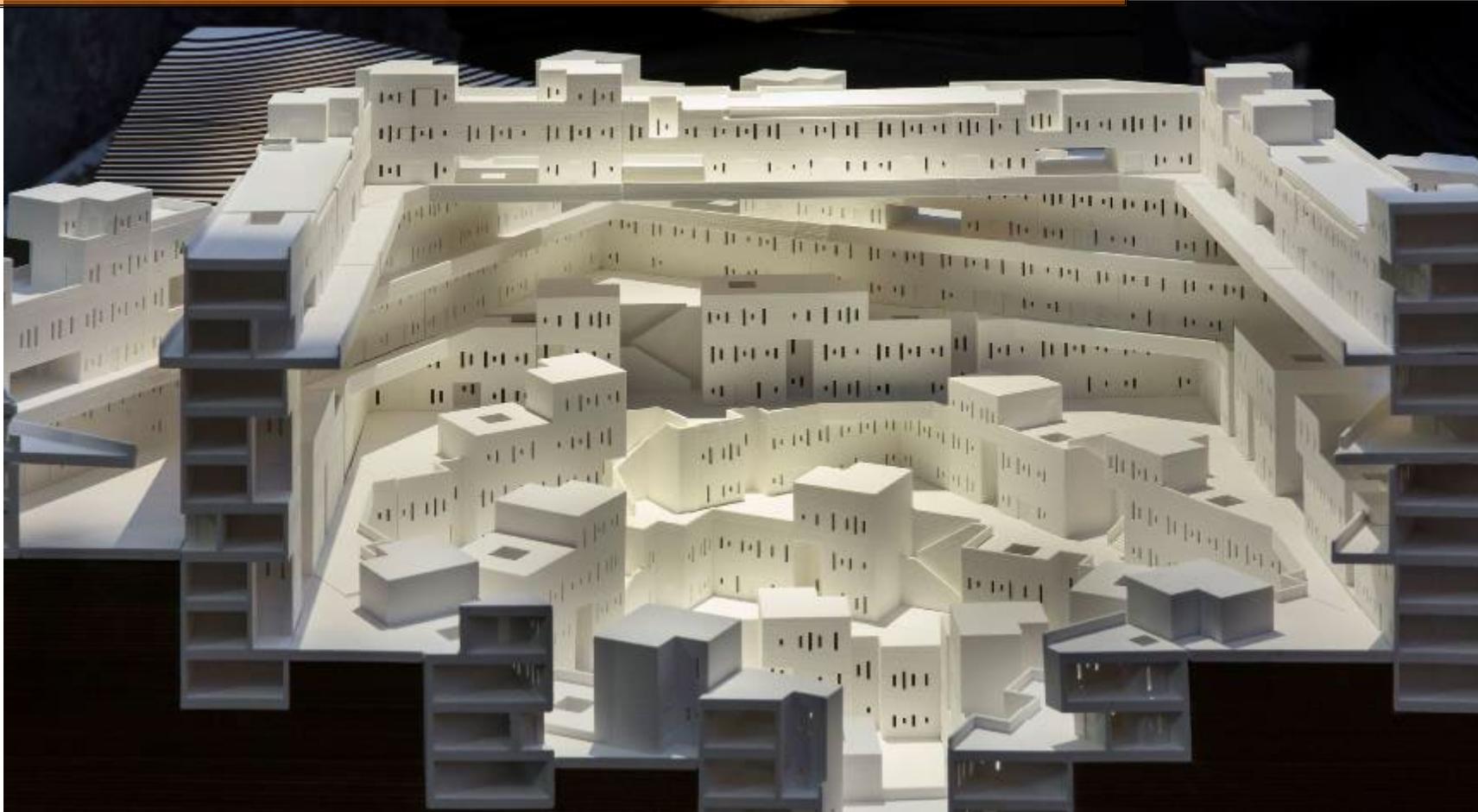
LE PAVILLON DU MAROC LORS DE LA 14^{ÈME} BIENNALE DE VENISE



Sahara: Habiter l'inhabitable
(Oualou + Choi Architecte)

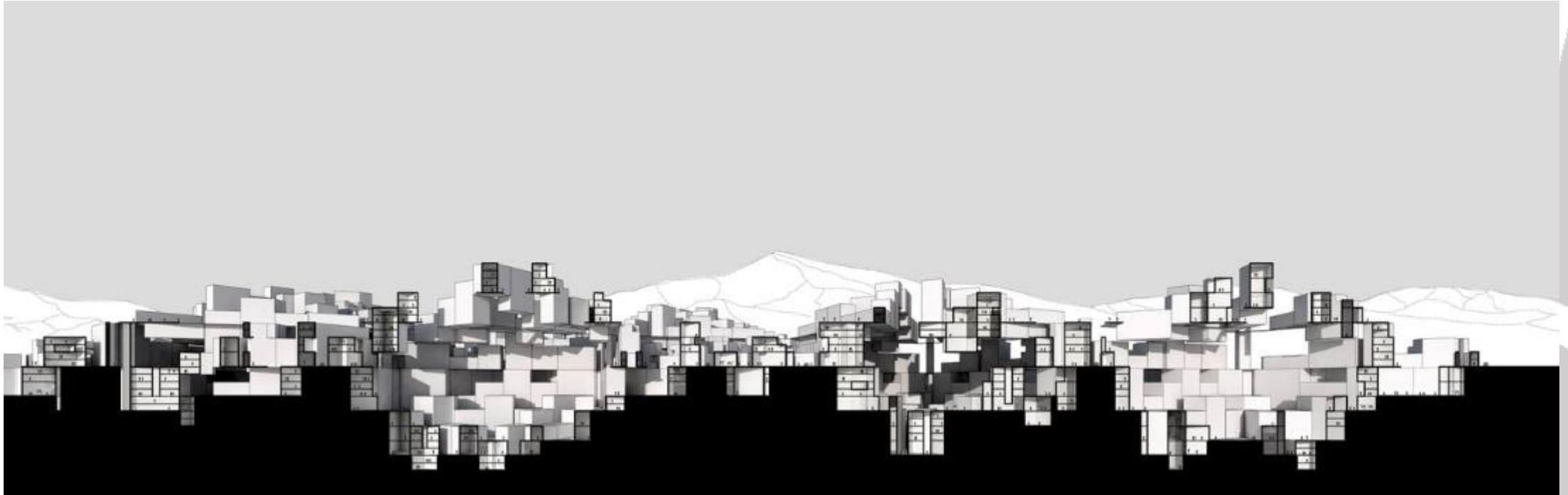
- Le sous-sol partenaire

LE PAVILLON DU MAROC LORS DE LA 14^{ÈME} BIENNALE DE VENISE



- Le sous-sol partenaire

LE PAVILLON DU MAROC LORS DE LA 14^{ÈME} BIENNALE DE VENISE



Sahara: Habiter l'inhabitable
(Oualou + Choi Architecte)

4. Planifier pour laisser la place au futur



- Le schéma directeur de la Région Ile-de-France

- SDRIF octobre 2012

« Le développement durable conduit à **considérer le sol et le sous-sol comme des ressources** à part entière.

L'Ile-de-France, située au cœur d'un grand bassin sédimentaire, dispose d'un patrimoine sol et sous-sol particulièrement riche et porteur de nombreuses potentialités. Il s'agit d'utiliser et de valoriser cette dimension du sous-sol tout **en n'obérant pas des réalisations futures.**

Le sous-sol doit être considéré comme une ressource stratégique, particulièrement dans les espaces urbanisés au regard des objectifs concomitants de densification d'économie d'espace, d'intégration et de sécurisation des équipements, transports, services et industries, réseaux de stockage, etc. »

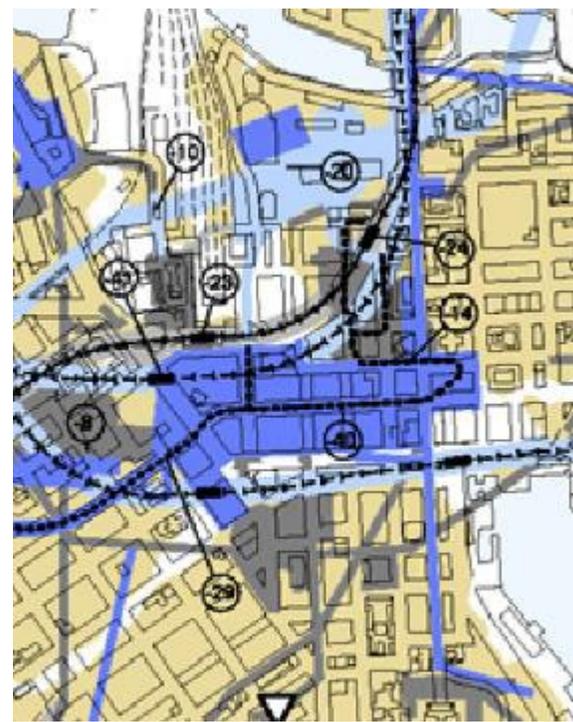
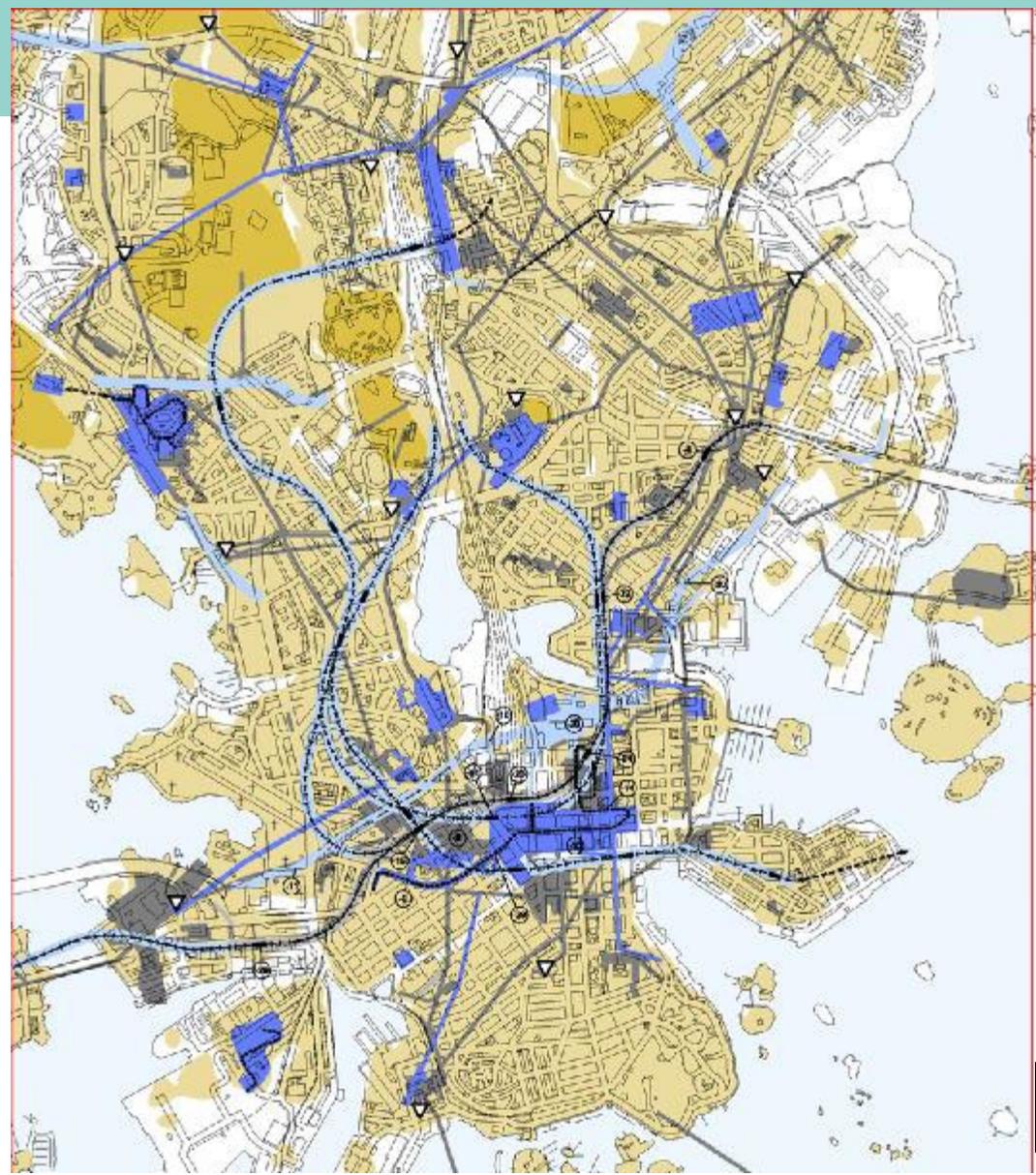
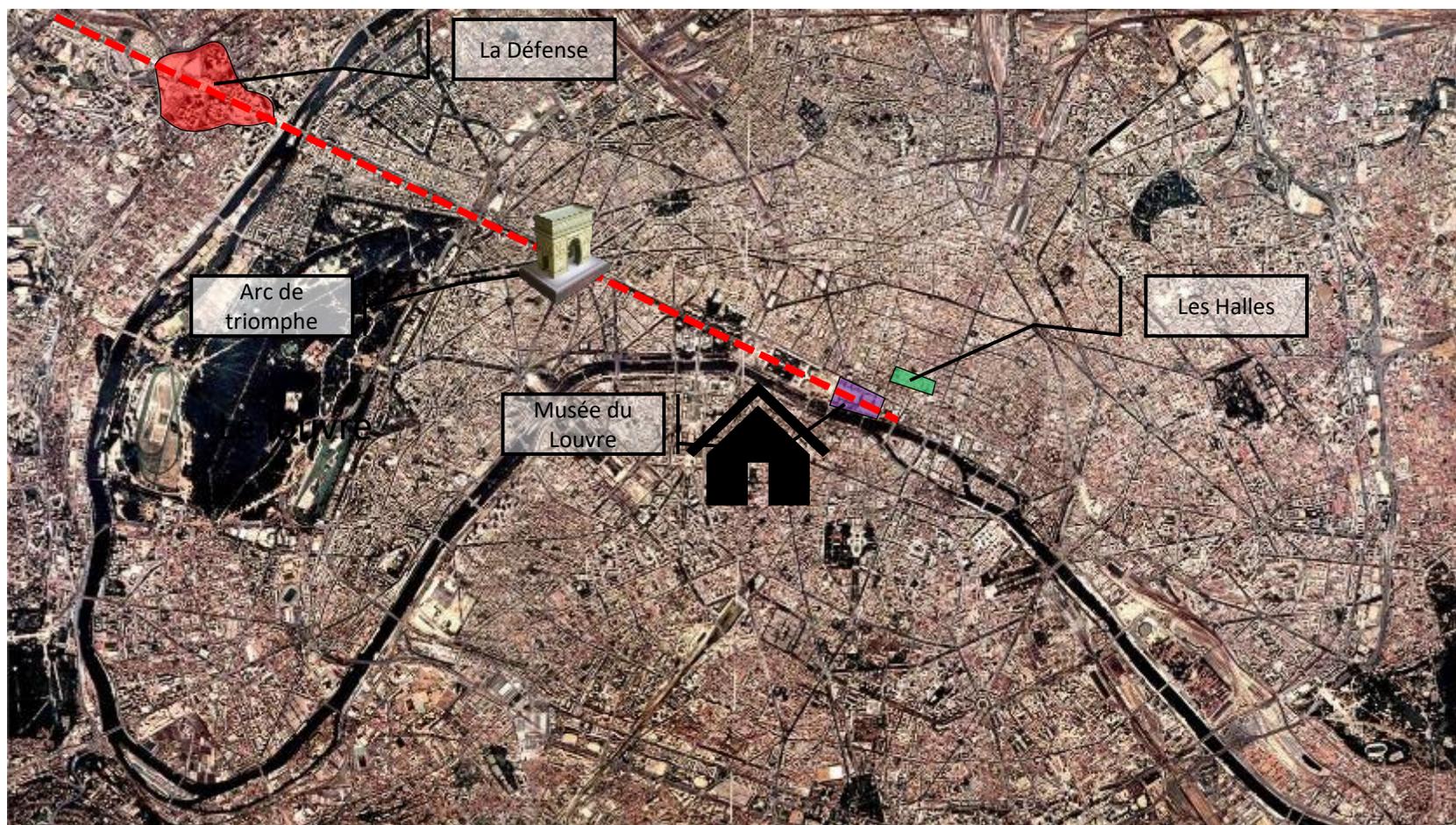


SCHÉMA DIRECTEUR, HELSINKI

• Le Louvre



- Le Louvre

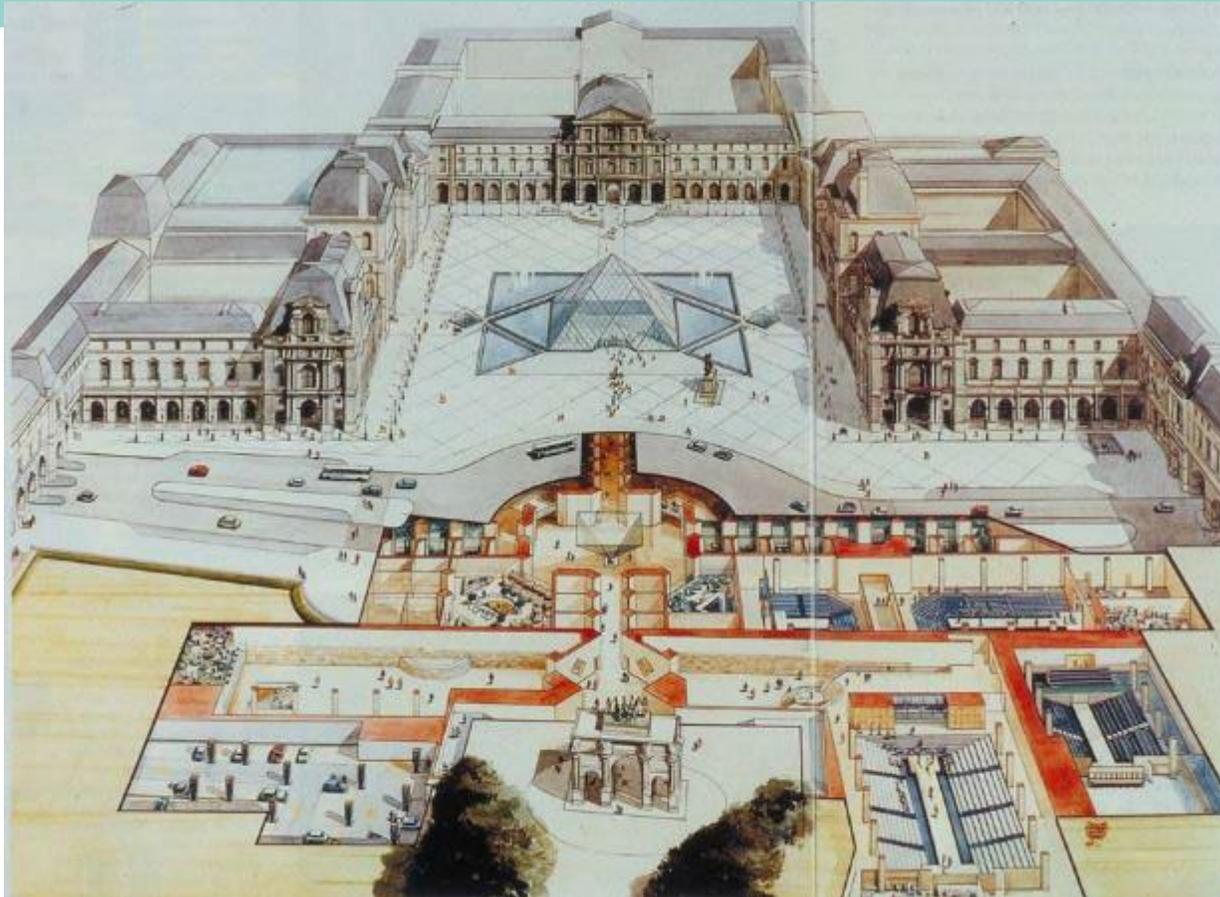


Le musée du Louvre est un monument classé situé dans un site historique classé

La seule possibilité d'extension du musée était **par le souterrain.**



- Le Louvre



Prolonger la vie urbaine vers le sous-sol tout en créant un modèle unique de gouvernance qui a permis d'étaler la conception architecturale et urbaine sur toute la surface de la parcelle sur plusieurs niveaux au sous-sol

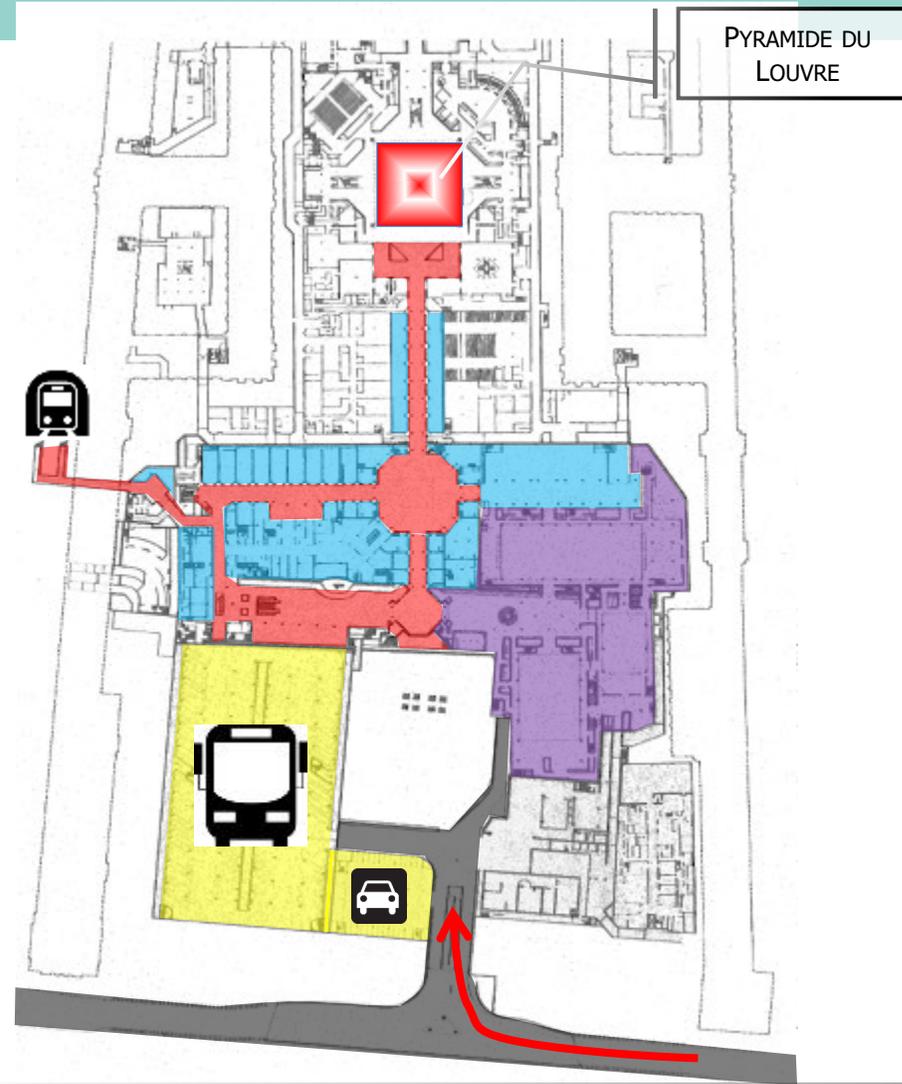
Webinaire SNBPE: Ville 10D – Ville d'Idées 18 mai 2022



• Le Louvre

Créer une seule entrée
vers le site

-  **Traffic**
-  **Magasins**
-  **Centre de conférence**
-  **Parking**



Le musée du Louvre



- Le Louvre



Le musée est une structure constamment évolutive. L'extension récente du musée via la création de la salle des Arts de l'Islam et le réarrangement de l'accueil central vient de souligner cette évolutivité dans l'espace et dans le temps

Salle des arts de l'Islam



Arch. Rudi Ricciotti



5. Le Projet national de Recherche Ville 10D - Ville d'Idées

- connaître le sous-sol pour le protéger et le valoriser

- Le connaître dans toutes ses dimensions

LA MATRI CE DU PROJET DE RECHERCHE

	Caractéristiques urbaines et exemples de sites				
	A- Cavités	B- Plateau	C- Sous dalle	D- Infrastructures existantes	E- Infrastructures en projet
	Ville de Paris	Orly - Rungis	La Défense	Réseau métro & RER RATP	Cité Descartes Marne la Vallée
Thèmes d'études					
1. Dimension socio-économique	A1	B1	C1	D1	E1
2. Dimension environnementale	A2	B2	C2	D2	E2
3. Dimension sociétale	A3	B3	C3	D3	E3
4. Dimension cognitive	A4	B4	C4	D4	E4
5. Thèmes transversaux : - juridique - planification	A5	B5	C5	D5	E5

**CROISEMENT DES THÉMATIQUES
TRANSVERSALES AVEC LES SITES TYPES**

• Le connaître dans toutes ses dimensions



• 29 signataires de la charte :

▫ Organismes de recherche et écoles



▫ Entreprises



▫ Maîtres d'ouvrage d'aménagement urbain, de transport et d'énergie



▫ Associations



▫ Bureaux d'études et sociétés d'ingénierie



Soutenu (à l'origine) par le MEDDEM
Géré par l'IREX
Labellisé Advancity

Thème 1 – socio-éco

- SYSTRA
- Interface transport
- Les Ateliers Monique Labbé
- Conseil Général du Val-de-Marne
- AFILOG

Thème 3 - sociétal

- ENSA Bordeaux, ENSA Val-de-Seine
- URCA de Reims, Laboratoire Habiter
- Collège de France, Chaire de physiologie de la perception et de l'action.
- ENSAP Lille, LACTH – ENTPE Lyon
- LASH – INGELUX – INSERM-SBRI
- Laboratoire GRECAU - ENSAP Bordeaux
- IRPhil (Lyon 3)
- TECOMAH
- IAU d'Île-de-France

Thème 2 - environnement

- BRGM
- IFSTTAR
- ADEME
- ENPC
- EIVP Paris
- CIMBETON
- École des Mines de Nancy
- CETU
- CYCLEC
- SYSTRA
- INERIS
- Bouygues TP

Thème 4 – visibilité, gestion de données

- Laboratoire de Bordeaux 1 – I2M, GCE
- Univ. Paris-Est Marne-la-Vallée, département Génie Urbain,
- BRGM, Service Aménagement et risques naturels
- Ecoles de Mines de Nancy, GISOS
- INERIS
- CETU

• Les 7 recommandations

- 1. Conception de l'Espace Souterrain : partie intégrante de la ville :**
 - Penser l'espace souterrain comme dimension du projet urbain
- 2. Gouvernance :**
 - Anticiper, organiser la concertation entre acteurs, le travail commun
- 3. Transdisciplinarité :**
 - Partager les outils et les données de connaissance, d'évaluation, de conception
- 4. Programmation : multifonctionnalité des sites et connexion des espaces**
- 5. Humanisation, désirabilité : confort, attractivité, sécurité**
- 6. Durabilité, résilience, rentabilité des aménagements**
- 7. Prise en compte des échelles d'espace et de temps**
 - Élargir le référentiel géographique et chronologique

• Les 4 questionnements des Maîtres d'ouvrage

- **les questions des aménageurs se déclinent en 4 champs d'investigation :**
 - Le contenu des projets souterrains
 - Le pilotage des projets et gestion des sites
 - La maîtrise des risques et la résilience : sécurité et sécurisation
 - Les données du sous-sol et leur visualisation

LA MATRICE DU PROJET DE RECHERCHE

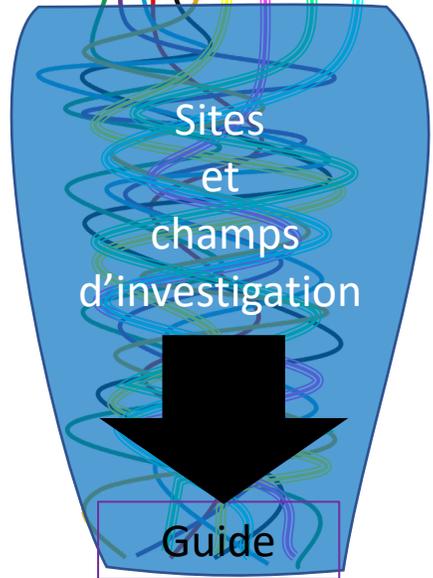
	Caractéristiques et exemples de sites				
	A- Casais	B- Plateaux	C- Sites d'altitude	D- Infrastructures existantes	E- Infrastructures en projet
Thèmes d'études	Ville de Paris Orly - Rangis		La Défense	Réseau métro A RER B&D	CAF Descaux Mairie de Villejuif
1. Dimension socio-économique	A1	B1	C1	D1	E1
2. Dimension environnementale	A2	B2	C2	D2	E2
3. Dimension sociale	A3	B3	C3	D3	E3
4. Dimension cognitive	A4	B4	C4	D4	E4
5. Thèmes transversaux : - juridique - planification	A5	B5	C5	D5	E5

1 2 3 4 5 6

7 recommandations

4 questionnements

Maître d'ouvrage



• Le plan guide

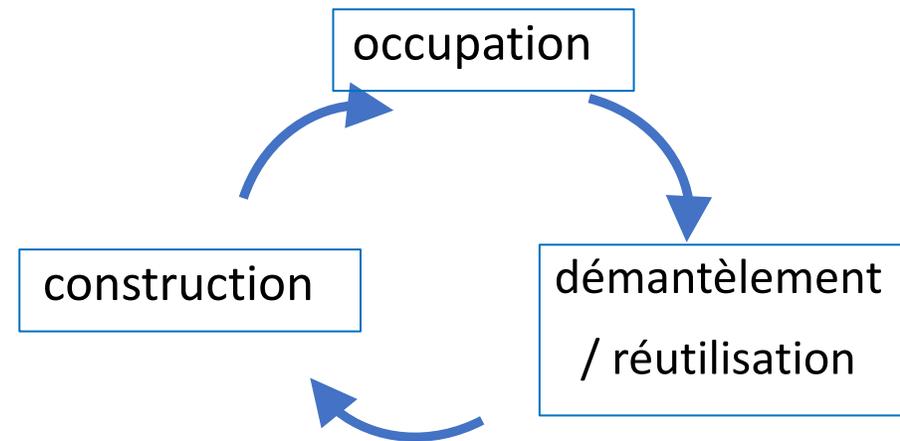
Ces champs d'investigation vont produire la structure d'un guide pratique pour l'usage du sous-sol urbain

- Partie 1 - L'espace souterrain habité
- Partie 2 - La contribution de l'espace souterrain à la ville durable
- Partie 3 - La planification, la programmation, la conception et la maintenance du projet urbain souterrain
- Partie 4 - Les données et la visualisation du sous-sol urbain

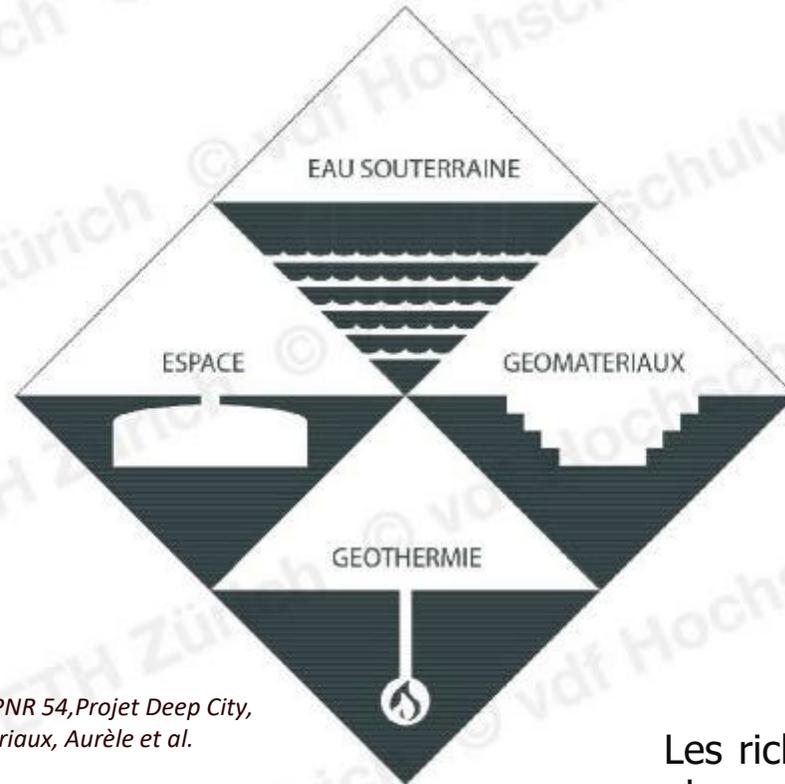
5. Contribution du sous-sol à la durabilité urbaine

• Les objectifs

- Une ville décarbonée → Zéro Émissions Nette
- Une ville compacte → Zéro Artificialisation Nette
- Une ville sobre → Zéro déchets



• Les richesses du sous-sol

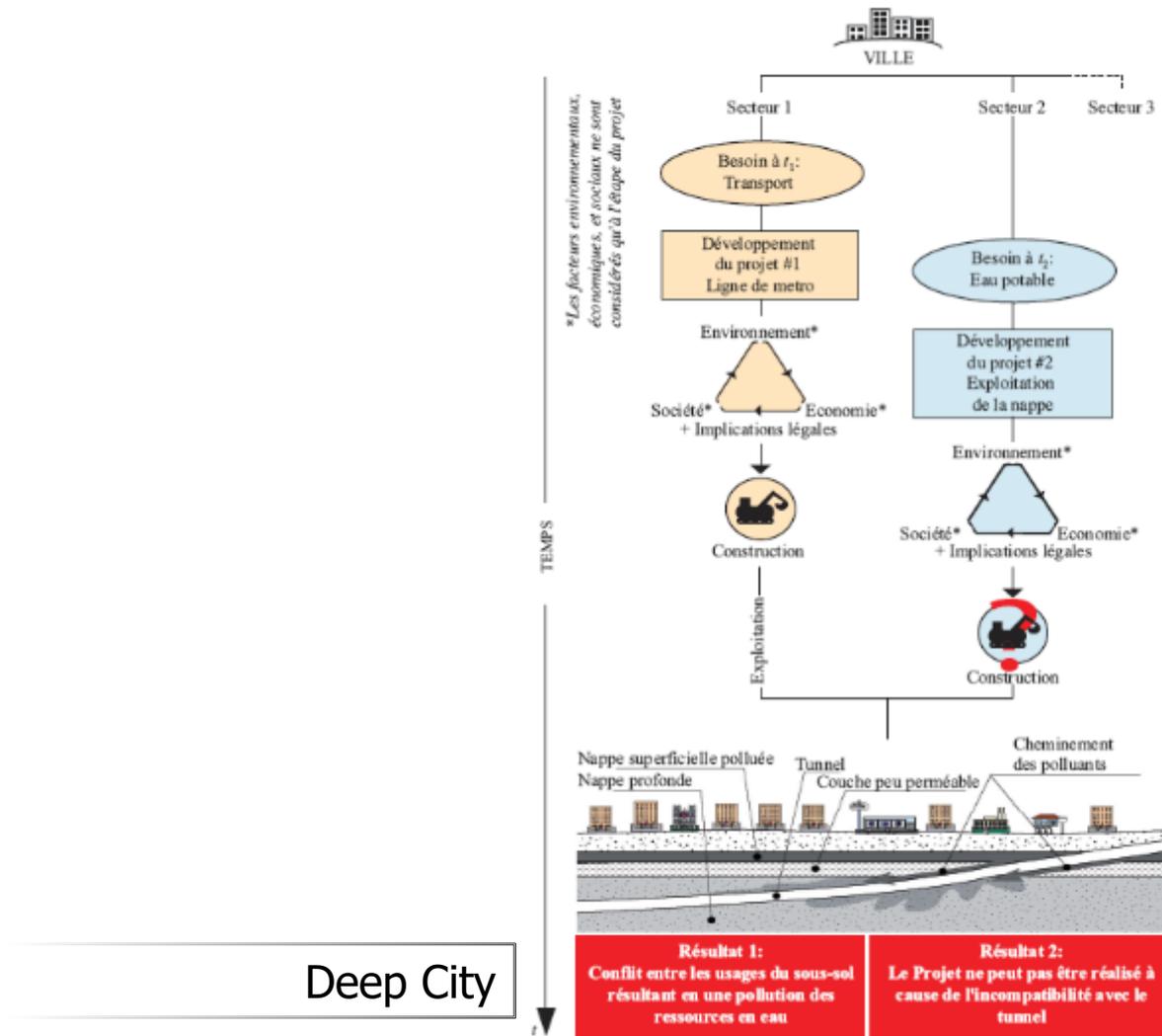


© PNR 54,Projet Deep City,
Parriaux, Aurèle et al.

Les richesses du sous-sol se valorisent
et se protègent pendant le chantier et
dans le quotidien des villes.

→ **Le sous-sol est un système complexe et fragile**

• Approche sectorielle de l'usage du sous-sol...



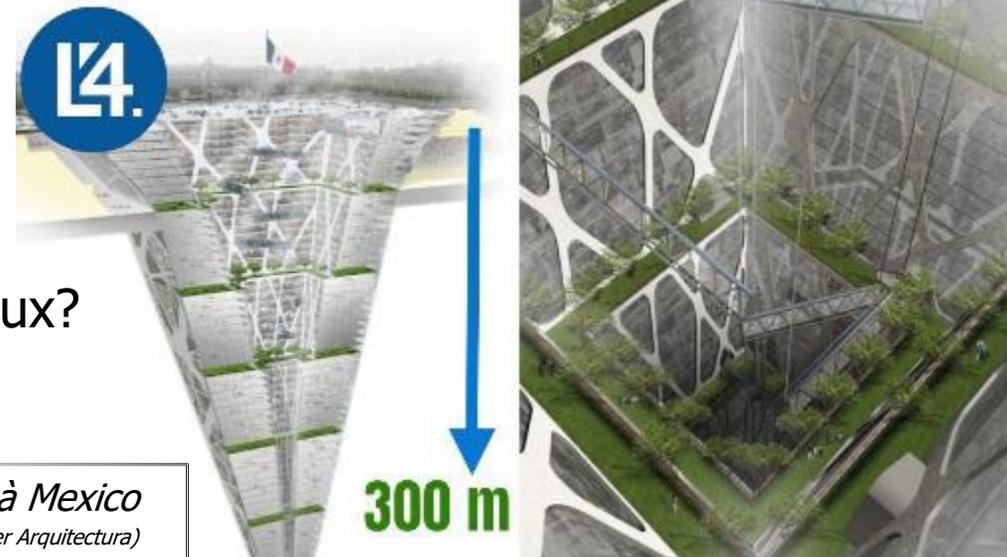
Deep City

• De la densification urbaine



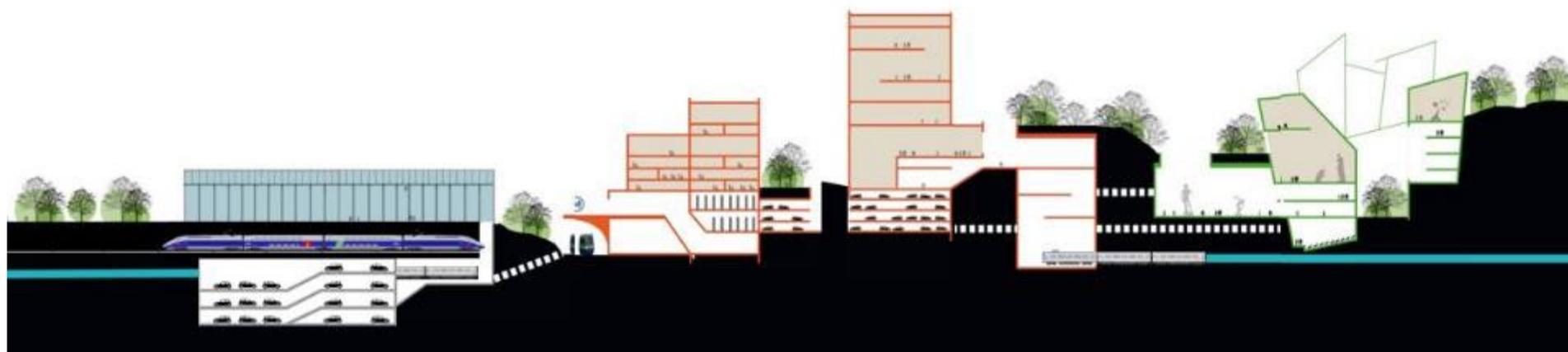
Taiwan
(Vincent Callebaut Architecture)

quelle densité?
quels avantages environnementaux?
quelle qualité de vie?



Projet de gratte-terre à Mexico
(Bunker Arquitectura)

- ... à l'intensification urbaine



connectivité

mixité

• La forme urbaine

La forme urbaine influe sur l’empreinte carbone et sur la biodiversité

- Impact sur la consommation d’énergie dans les transports
- Impact sur les déperditions thermiques
- etc.

Ce lien doit être évalué avec rigueur.

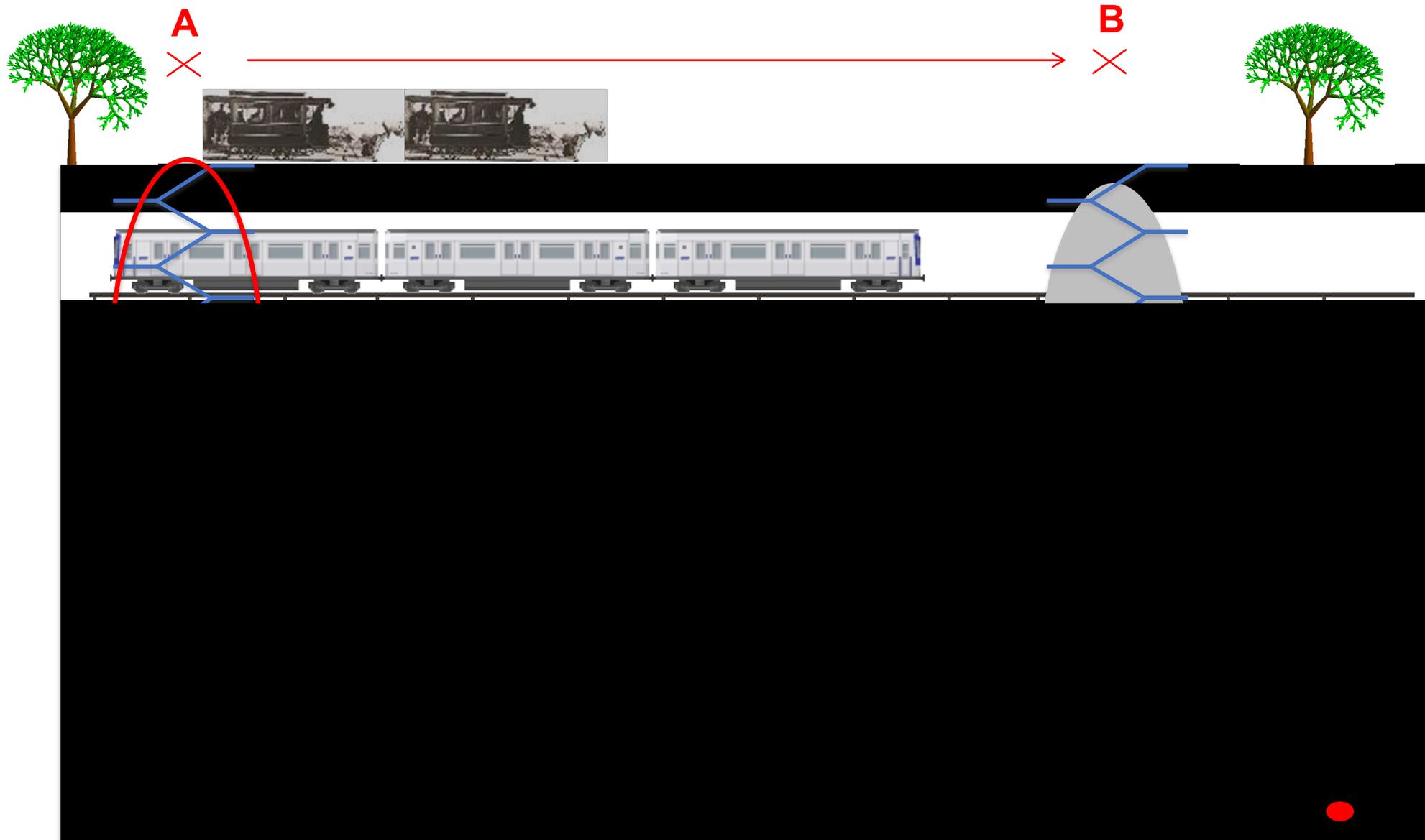
• Évaluer la durabilité

La durabilité du projet souterrain s'aborde suivant les trois piliers du développements durable :

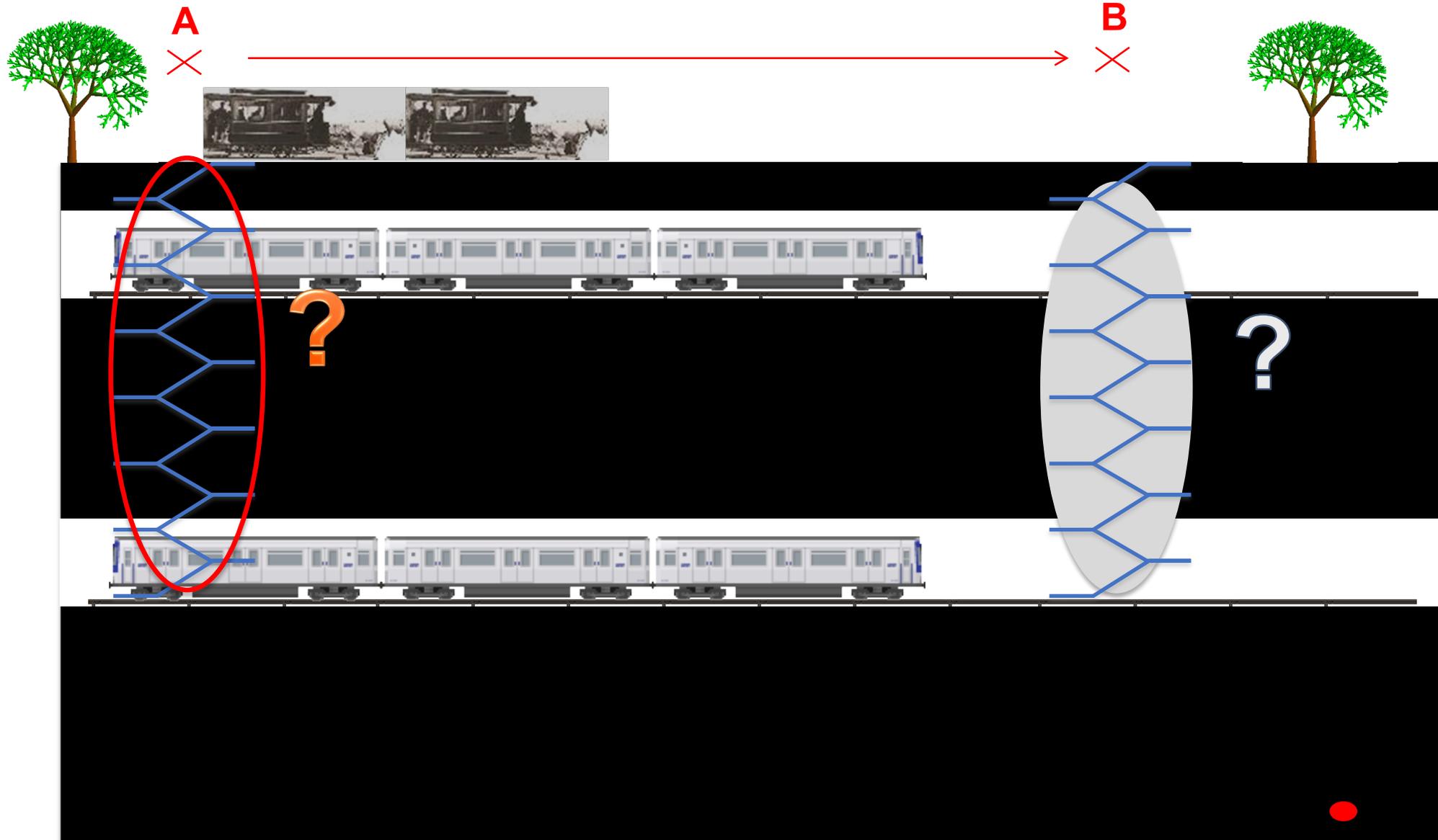
- **Évaluation environnementale**
 - les ACV : choix du périmètre et des indicateurs
- **Évaluation économique**
 - périmètre, mixité et le modèle économique
- **Évaluation sociétale**
 - Évaluation des externalités

6. La continuité de l'espace urbain

- Le réseau de transport, germe de l'urbanisme souterrain?



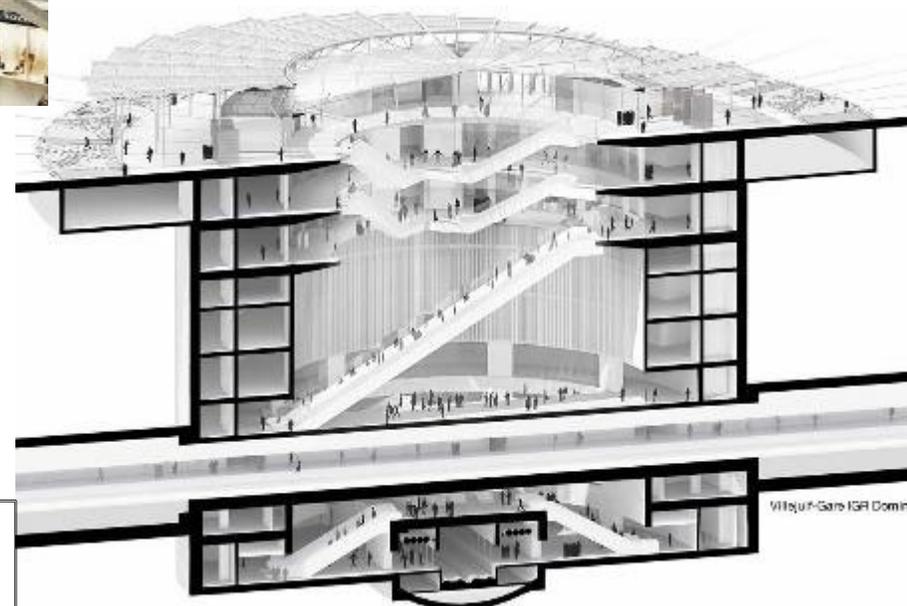
• Le réseau de transport, germe de l'urbanisme souterrain?



- L'esthétique des escaliers mécaniques

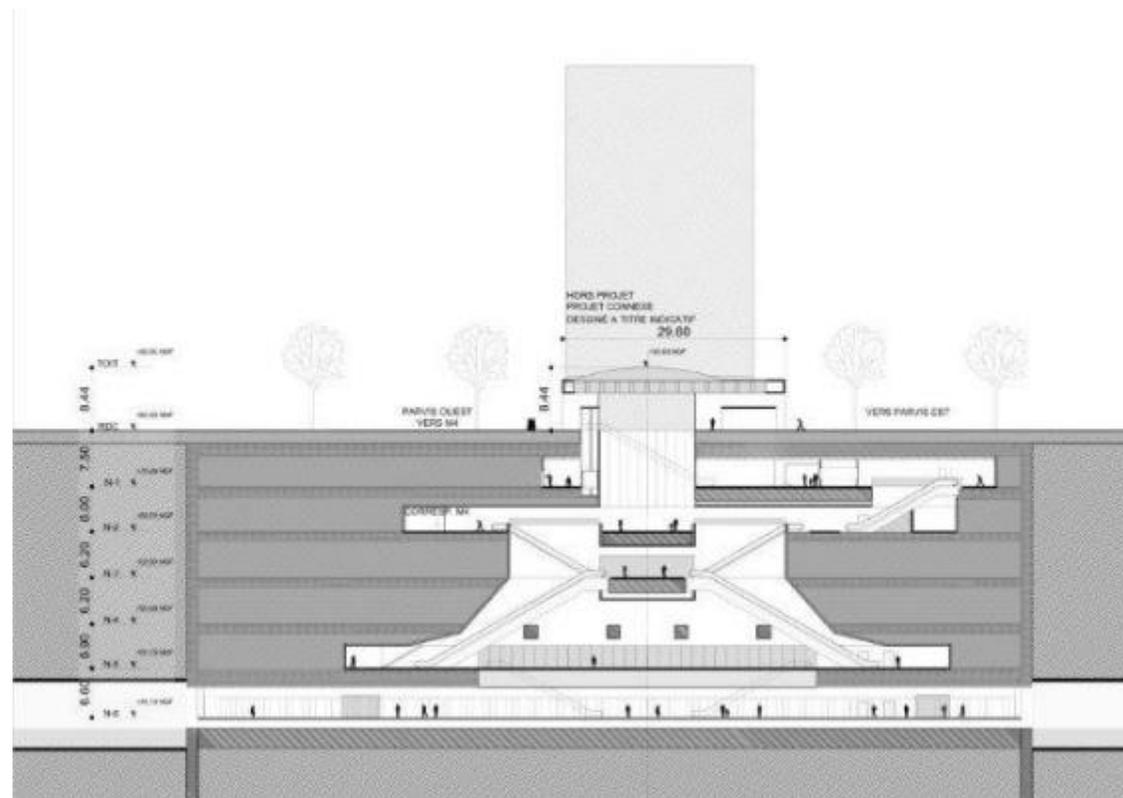


Le Nouveau forum des Halles
(Berger + Anzutti architects)



Gare de Villejuif Grand Paris Express
(DPA architect)

• Le Grand Paris Express

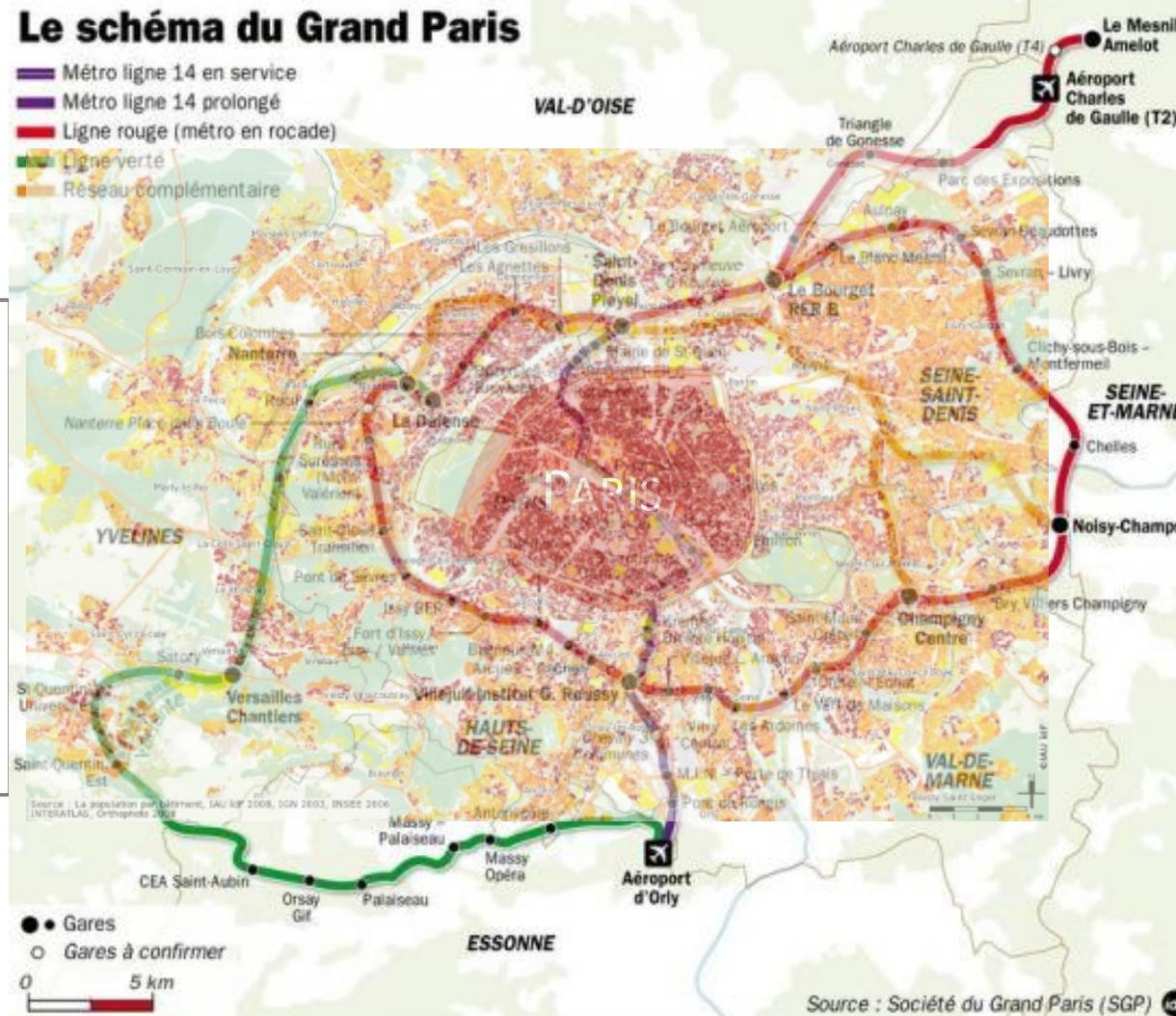


38,5 mètres

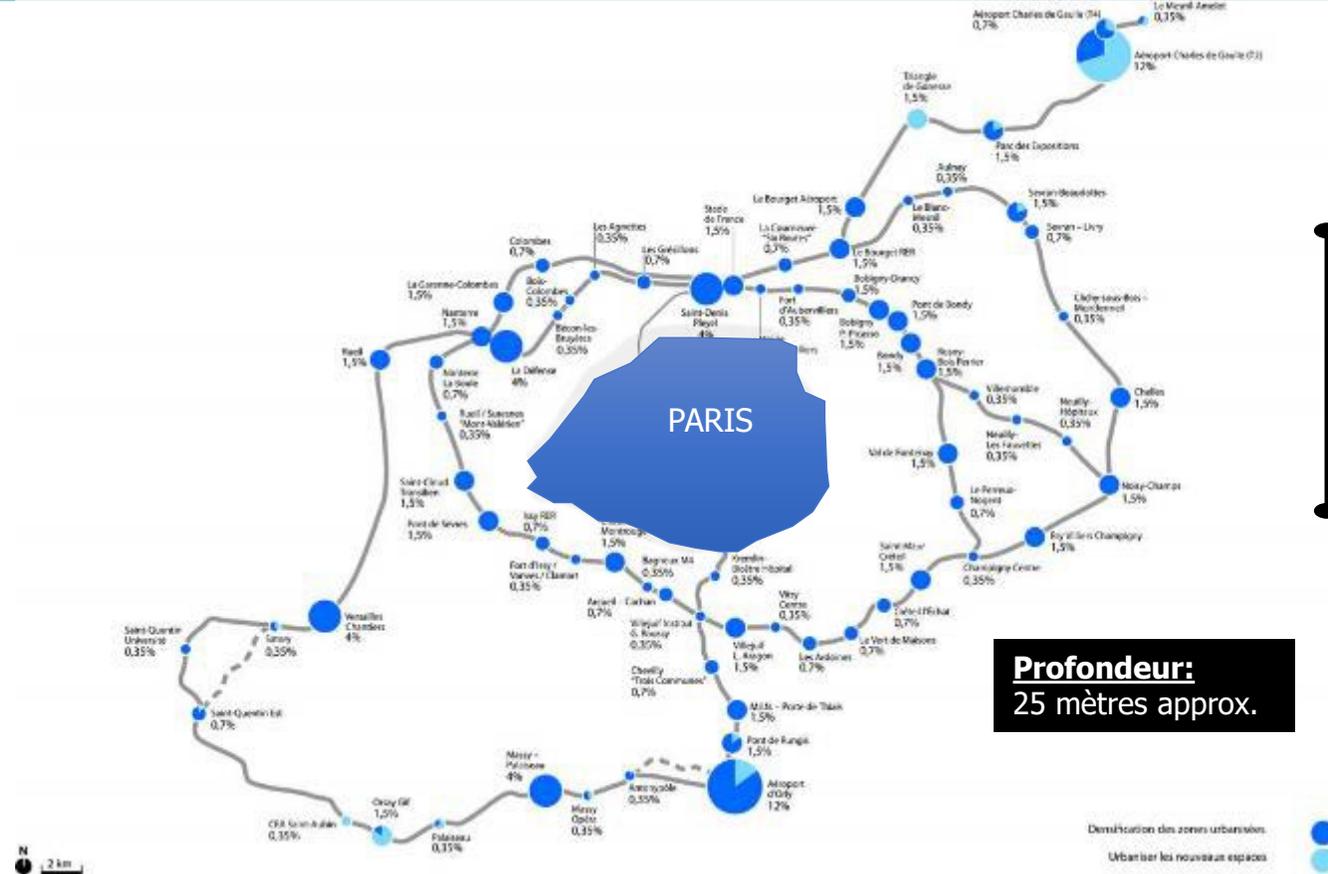
Grand Paris Express, gare de Bagneux
coupe longitudinale –
(Atelier Barani, architect) © Atelier Barani photo n° 7/8

- Le Grand Paris Express

Le Grand_Paris Express développe
1- Sa boucle principale en zone dense (proche banlieue)
2- une boucle large lancée dans la grande banlieue en zone non urbanisée



• Le Grand Paris Express



Le réseau du Grand Paris Express est conçu comme un projet structurant de la métropole : inducteur de développement urbain autour des nouvelles gares en banlieue, il promeut des «contrats de développement territorial» (CDT) entre l'Etat et les communes

• Le Grand Paris Express



Un soin particulier est apporté à l'architecture des nouvelles gares du Grand Paris Express



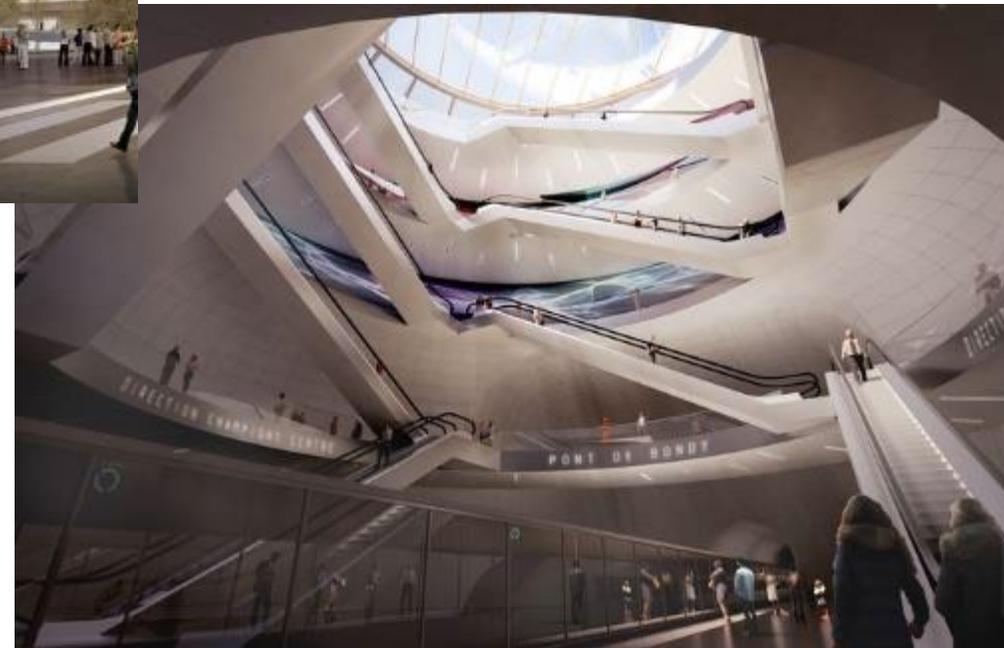
GARE DE CHELLES, L'ATELIER SCHALL

- Le Grand Paris Express

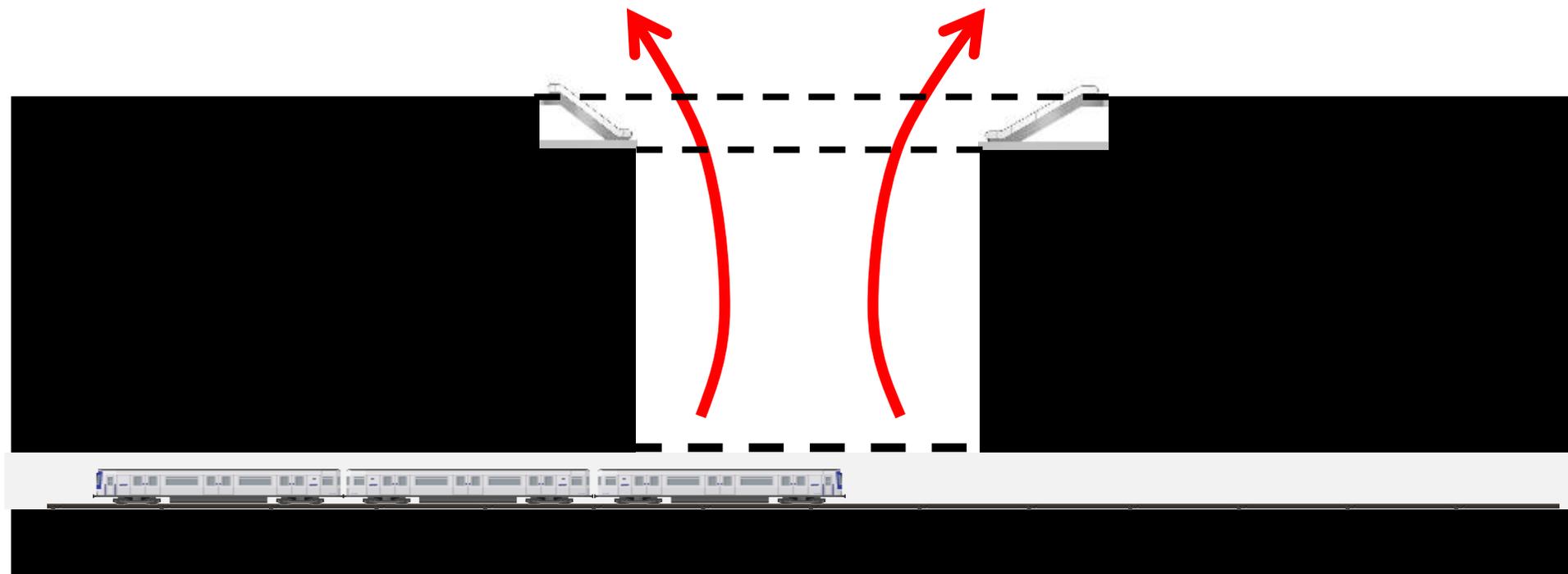


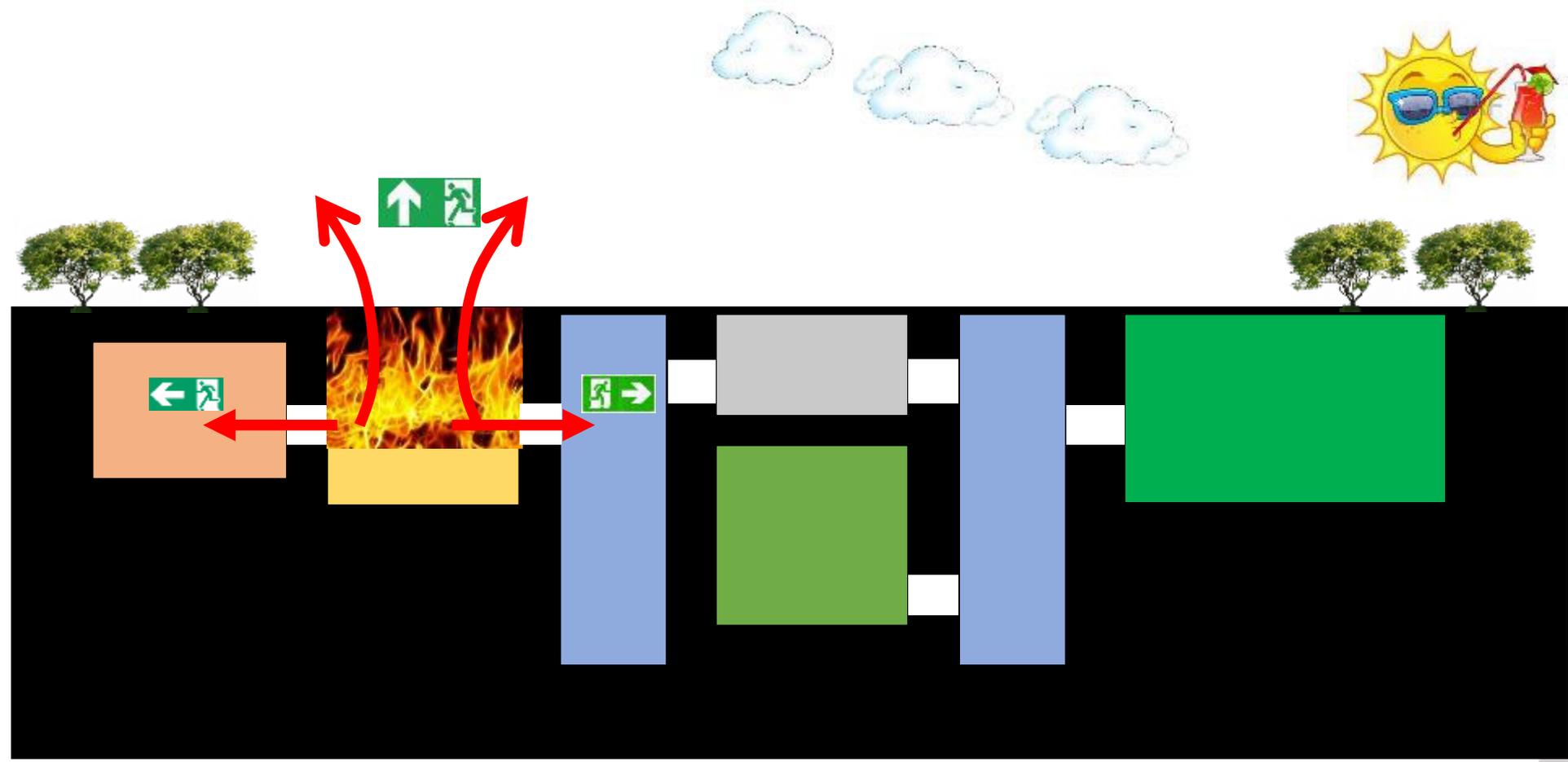
Mais dans le souterrain, les gares du Grand Paris Express GPE sont conçues comme des infrastructures complètement isolées

Les gares ne sont pas connectées à des équipements voisins d'envergure métropolitaine tels que gares routières ou pôles logistiques



GARE DE BONDY, BIG



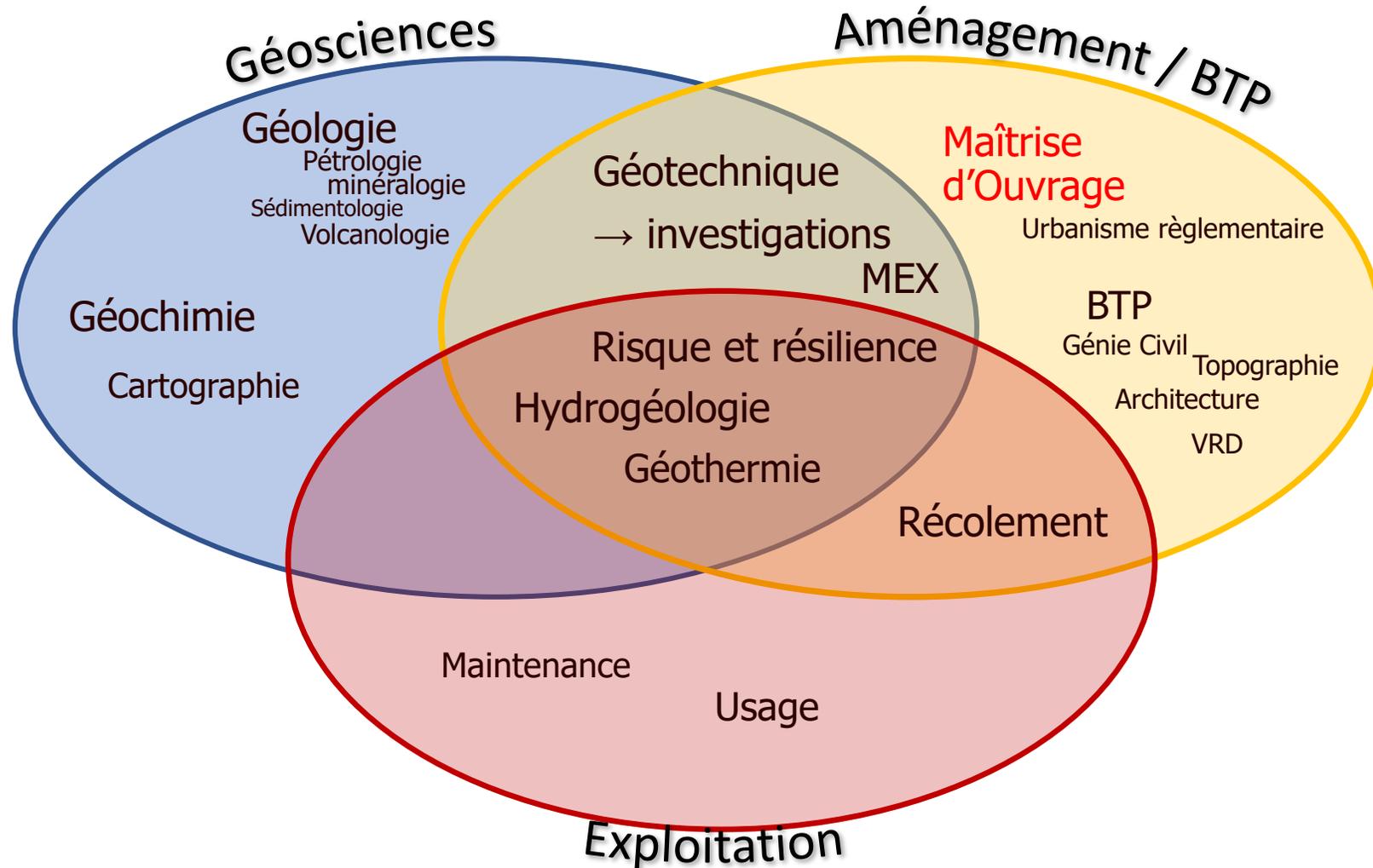


7. Données et visualisation du sous-sol

Partie 4 - Le recueil, la gestion et la visualisation des données du sous-sol urbain

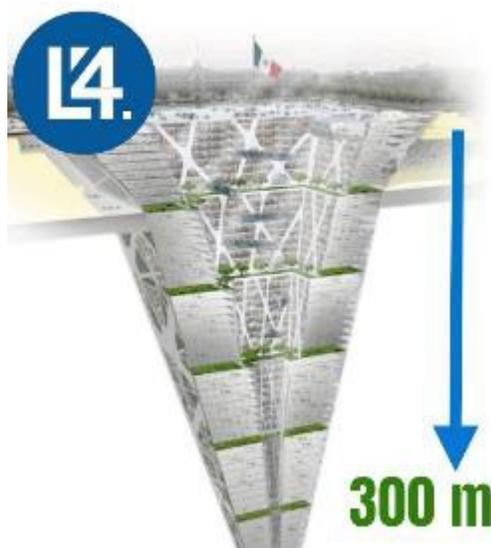
- **Des disciplines hautement spécialisées**
- **La modélisation du sous-sol géologique**
- **La visualisation des infrastructures souterraines**
- **Des maquettes numériques collaboratives pour le sous-sol**
- **Le CIM et l'urbanisme souterrain**

• Des disciplines hautement spécialisées...



« Chaque science, chaque étude, a son jargon inintelligible, qui semble n'être inventé que pour en défendre les approches.»

Voltaire



ou

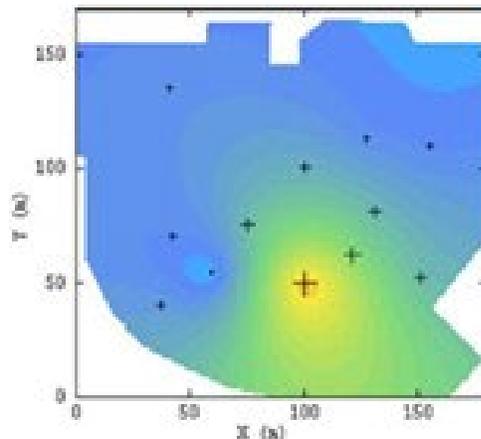


?

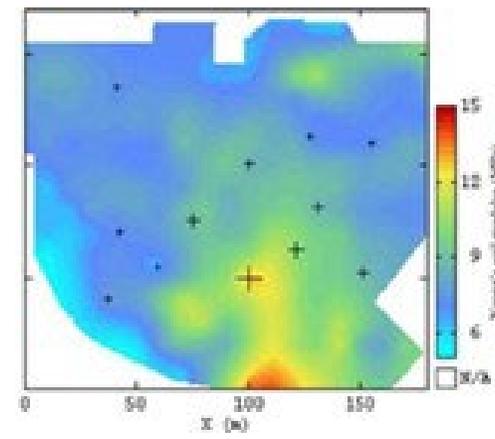
- La modélisation du sous-sol géologique

Les mesures directes sont coûteuses et limitées dans l'espace.

Les méthodes géostatistiques permettent **d'extrapoler** les données géologiques à partir de mesures physiques réalisées sur les sites étudiés.



***Méthode monovariante :**
Carte du module du sol obtenue par
krigeage des 12 mesures directes*



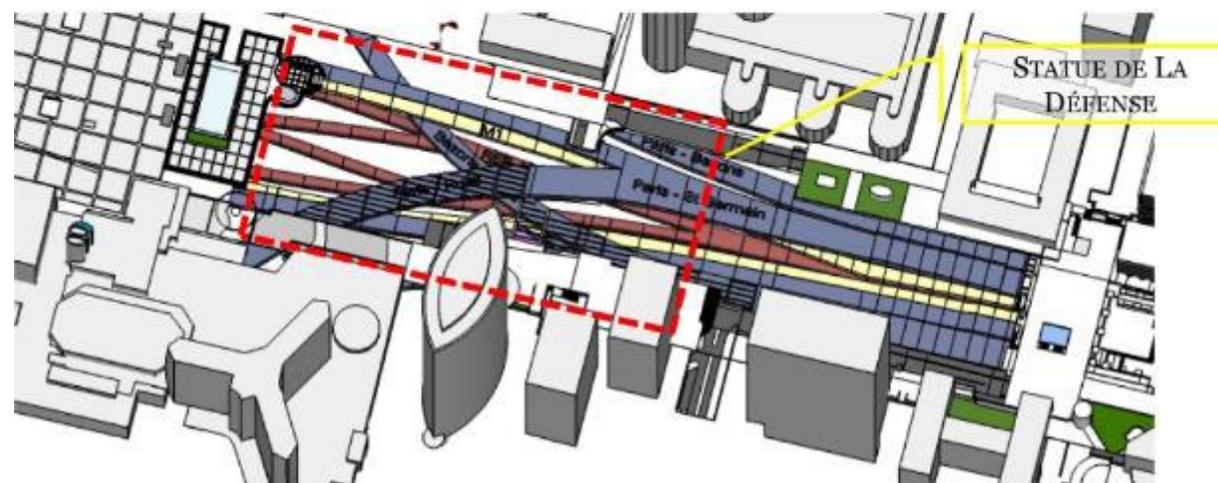
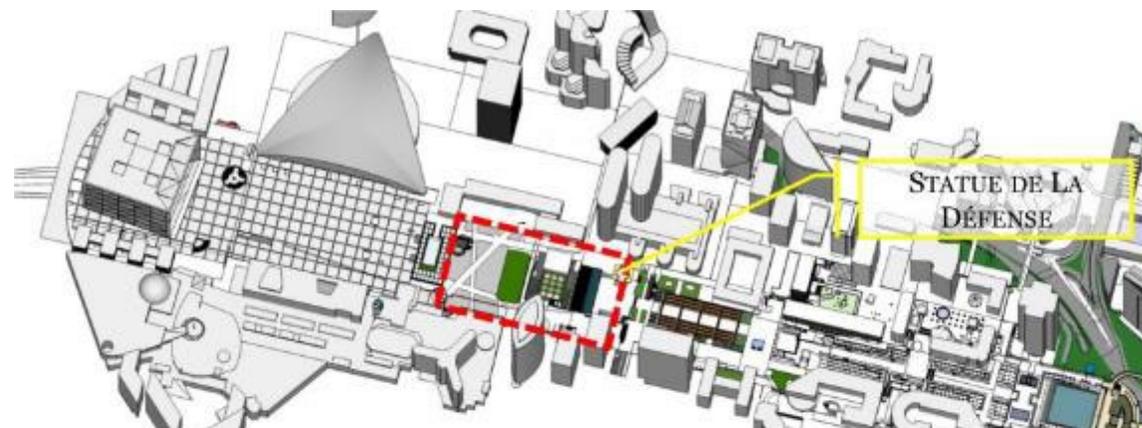
***Méthode multivariante :**
Carte du module du sol obtenue par
cokrigeage colocalisé avec la résistivité du sol*

• La modélisation du sous-sol géologique

Les données issues des investigations géotechniques reflètent la réalité car ce sont des mesures directes, et pourtant :

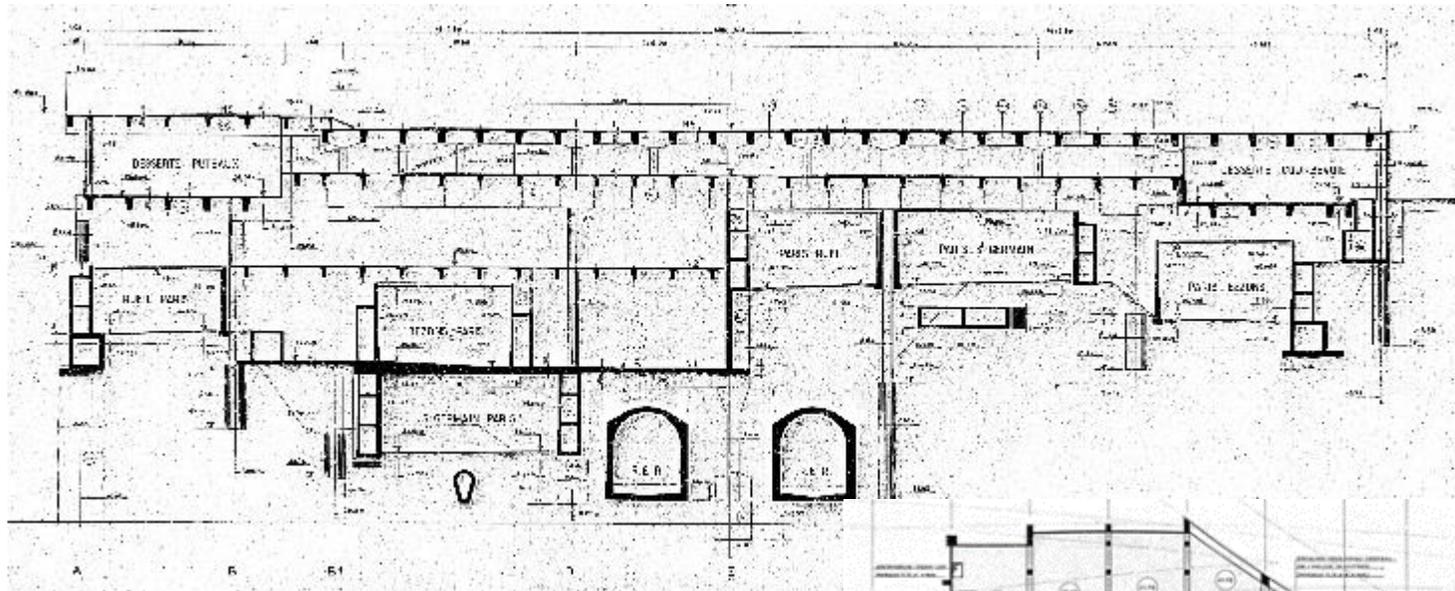
- Elles sont disséminées parmi les structures qui les ont commandées ou réalisées.
→ **problématique de l'accessibilité des données**
- Elles dépendent des conditions et de la qualité d'exécution des sondages.
- Elle dépendent de l'homogénéité de la transcription des données.
→ **problématique de l'interopérabilité des données**
- Elles sont discontinues.
→ **problématique de l'extrapolation des données**

- La visualisation des infrastructures souterraines



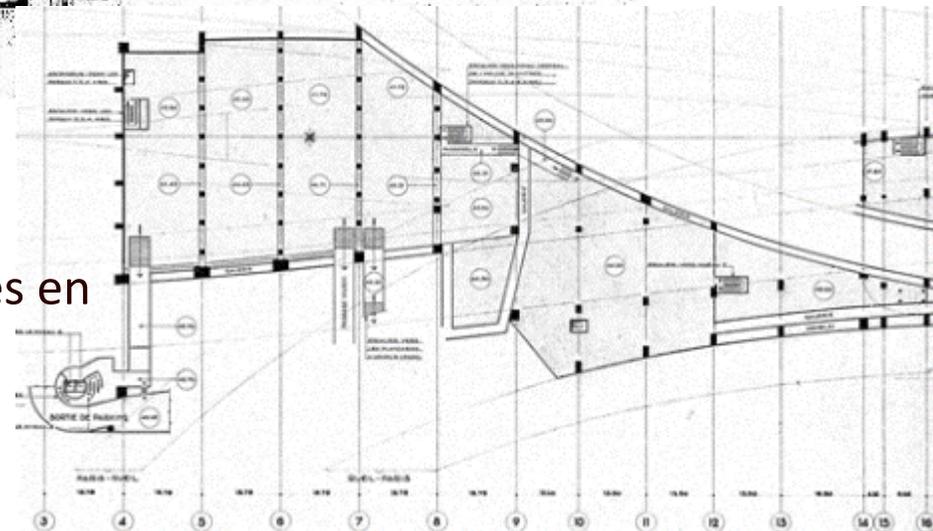
Axonométrie et écorché du parvis de la Défense
© PLD

• La visualisation des infrastructures souterraines



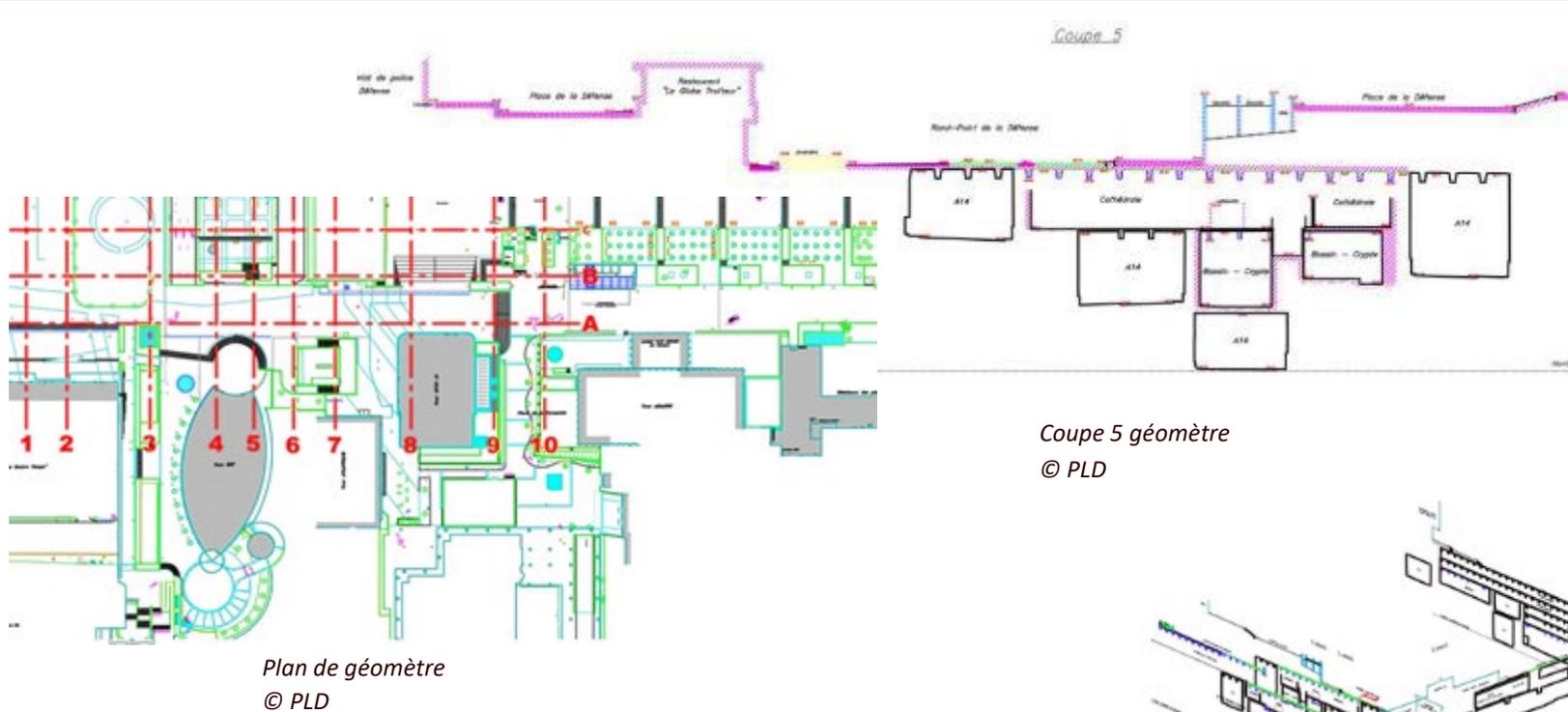
Coupe transversale au droit de la travée 6
© PLD

- Représentation de pleins organisés en entités structurelles ;
- géométrie orthonormée ;
- convention graphiques séculaires .

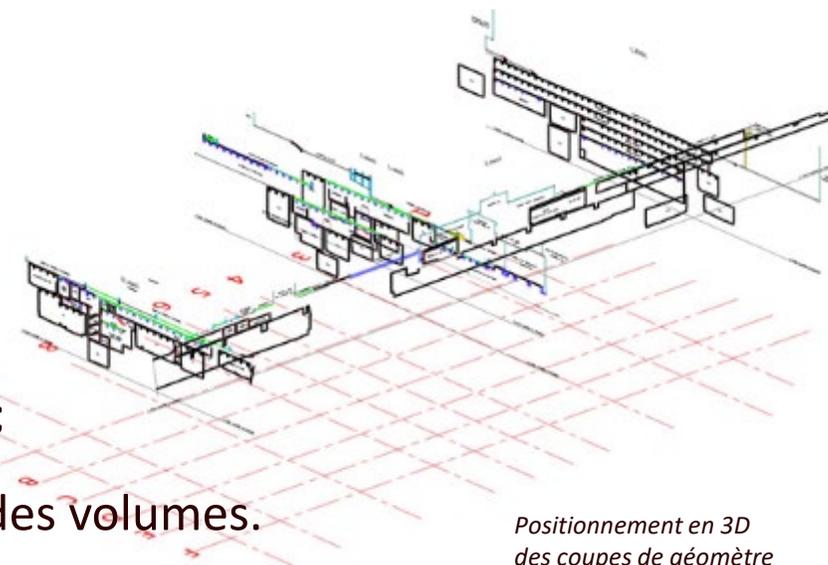


Niveau 1 vue en plan
© PLD

• La visualisation des infrastructures souterraines



- Représentation exacte des vides ;
- géométrie orthonormée et géoréférencée ;
- pas de vocation à aider la compréhension des volumes.



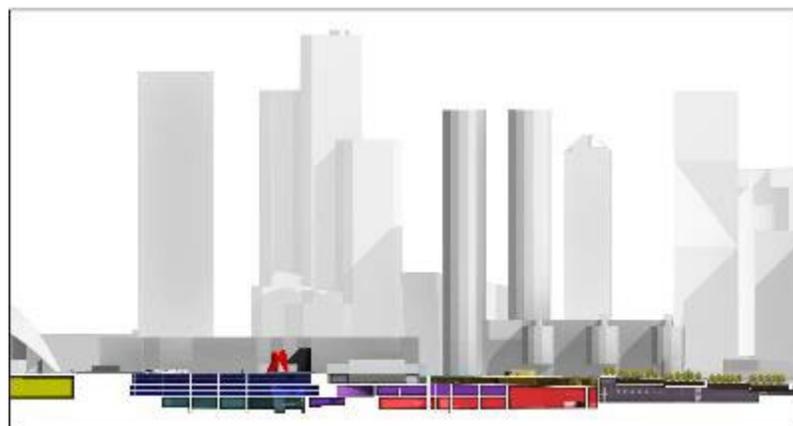
• La visualisation des infrastructures souterraines



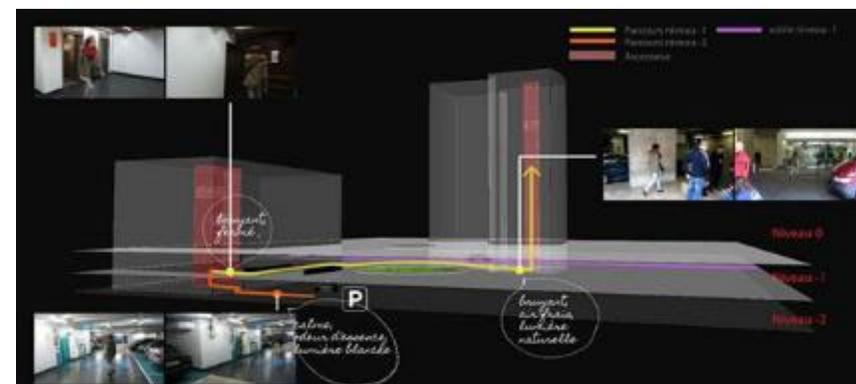
Plan des voiries souterraines, sur fond de plan masse
© EPADESA.



Plan du niveau sous-dalle (parcs de stationnement
et voiries) sur fond de plan des îlots
© EPADESA



Coupe fonctionnelle des espaces sous dalle
de La Défense
© PLD / les AML



cartographie séquentielle en 3D de l'entrepont Iris
© Tung Vu - PNR Ville 10D

• La visualisation des infrastructures souterraines

- Les représentations des sous-sols de la Défense sont **foisonnantes et hétérogènes**.
- Elles sont pourtant **lacunaires**
- Elles reflètent un cloisonnement professionnel qui détermine :
 - les entités à visualiser ;
 - les objectifs de visualisation ;
 - la codification graphiques.

Chaque mode de représentation exclut tout ce qui n'appartient pas à son champ de connaissance

- Elles ne sont pas interopérables
- Elles ne sont pas directement exploitables comme support pour la conception ou comme outil d'aide à la décision.

• Des maquettes collaboratives pour le sous-sol



*Le Corbusier dans le « couloir » de l'atelier
au 35 rue de Sèvres à Paris*

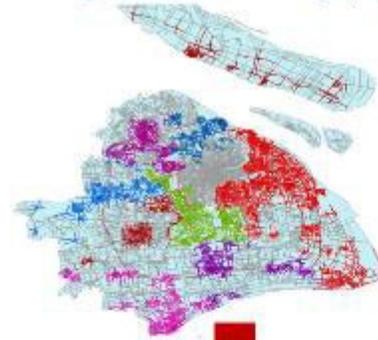
- La planche à dessin permet une codification de l'expression graphique
- Les premiers logiciels de dessin comme Autocad impactent peu les pratiques professionnelles.
- Des premières maquettes numériques communiquent sur l'aspect visuel des projets.
- L'avènement du BIM (Building Information Modeling) change la donne.

- Des maquettes collaboratives pour le sous-sol

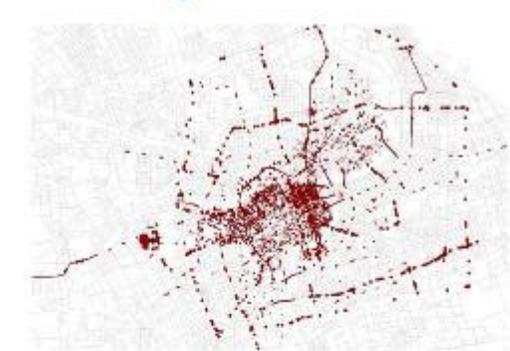
Modélisation
des réseaux



Modélisation
de la géologie



87 796 km



Modélisation des
structures souterraines



© Shanghai Institute of Urban and
Rural Construction and
Transportation Development, 2019

• Des maquettes collaboratives pour le sous-sol

Le clipping appliqué a un modèle géologique...

...à un modèle architectural...

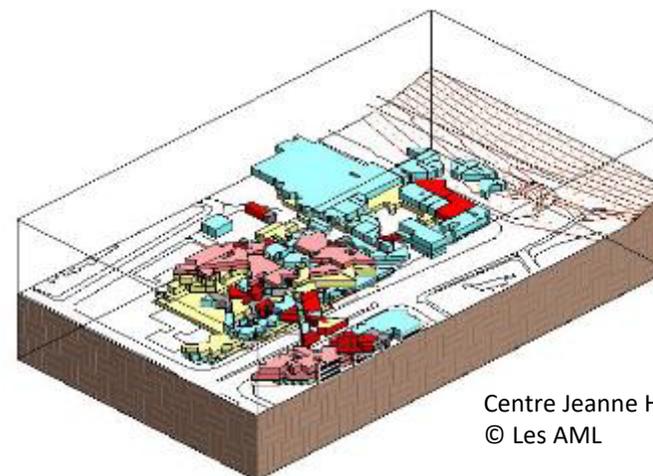


Représentation d'un clipping réalisé sur le modèle avec l'extraction de la formation géologique
© BRGM

...ou à un modèle urbain



Site de Palaiseau pour le SEDIF
© Les AML, Artélia



Centre Jeanne Hachette
© Les AML

• Des maquettes collaboratives pour le sous-sol

La pratique du BIM s'appuie sur :

- la codification de données ;
- la modélisation et la manipulation des objets (graphiques ou non) ;
- les cas d'usage .

Comment appliquer cette démarche à
l'urbanisme souterrain?

• Le CIM et l'urbanisme souterrain

Les cas d'usage d'un CIM de l'urbanisme souterrain envisagés par le PNR Ville 10D sont :

- l'identification des sites favorables au développement de l'urbanisme souterrain ;
- la création de synergies entre les ressources du sous-sol : eau, matière, énergie, espace ;
- les évaluations économiques et environnementales des projets souterrains.
- la planification du sous-sol urbain ;
- la résilience des aménagements souterrains

- À venir en 2022 :

Un guide des bonnes pratiques du sous-sol urbain

à destination des acteurs de l'aménagement : Élus, décideurs publics et privés, professionnels... et usagers !

Pour répondre à la question :

comment utiliser, valoriser les potentialités du sous-sol dans toutes ses dimensions

- **sans l'épuiser**
- **ni compromettre l'avenir ?**

www.ville10d.fr

Nous vous remercions !

Propriété privée

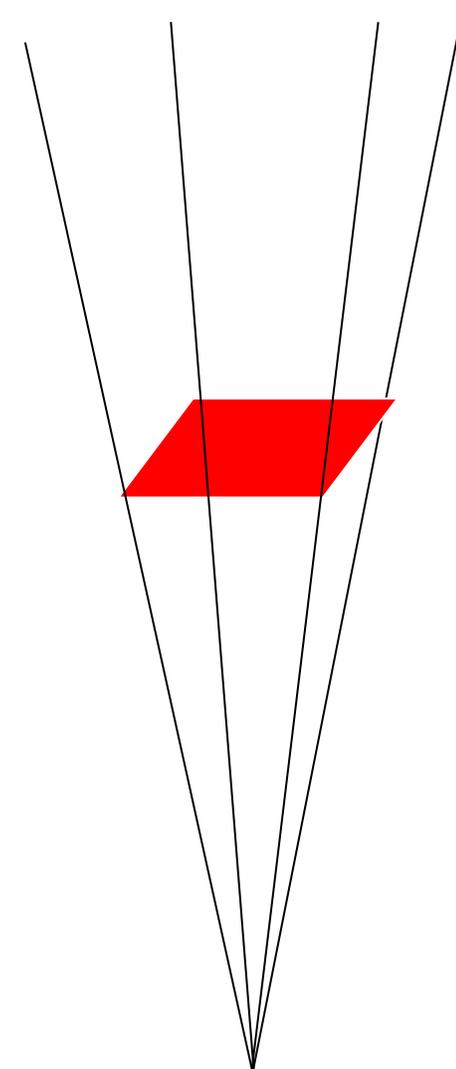
Du ciel



de la surface



Jusqu' au
centre de la
terre



- Tramway T7 (Viroflay)

